EDUCAR EN CIENCIAS

Elsa Meinardi

Leonardo González Galli
Andrea Revel Chion
María Victoria Plaza

PAIDÓS
65 ANIVERSARIO
Buenos Aires • Barcelona • México

PAIDÓS **VOCES** DE LA EDUCACIÓN

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit, sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat. Ut wisi enim ad minim veniam, quis nostrud exerci tation ullamcorper suscipit lobortis nisl ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue duis dolore te feugait nulla facilisi. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit, sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat.

Elsa Meinardi, Leonardo González Galli, María Victoria Plaza y **Andrea Revel Chion** conforman

www.paidos.com
www.paidosargentina.com.ar

ISBN 978-950-12-

EDUCAR EN CIENCIAS

Elsa Meinardi | Leonardo González Galli | María Victoria Plaza | Andrea Revel Chion

lomo: XXX mm

VOCES DE LA EDUCACIÓN

EDUCAR EN CIENCIAS

Elsa Meinardi
Leonardo González Galli
María Victoria Plaza
Andrea Revel Chion

CYAN MAGENTA YELLOW BLACK

Meinardi, Elsa
Educar en ciencias- 1a. ed.- Buenos Aires : Paidós, 2010.
280 p. ; 22 X 16 cm. - (Voces de la Educación / Rosa Rottemberg; 13517)

ISBN 978-950-12-1527-4

1. Educación. I. Título
CDD 370.1

Directora de colección: Rosa Rottemberg

Cubierta de Gustavo Macri

1ª edición, 2010

© 2010, Elsa Meinardi

© 2010 de todas las ediciones en castellano
Editorial Paidós SAICF
Independencia 1682/1686, Buenos Aires – Argentina
E-mail: difusion@areapaidos.com.ar
www.paidosargentina.com.ar

Queda hecho el depósito que previene la Ley 11.723
Impreso en la Argentina. *Printed in Argentina*

Impreso en Primera Clase,
California 1231, Ciudad de Buenos Aires
en junio de 2010

Tirada: 3.000 ejemplares

ISBN 978-950-12-1527-4

ÍNDICE

PRESENTACIÓN 11

1. EL SENTIDO DE EDUCAR EN CIENCIAS, POR ELSA MEINARDI 15
   Educación científica para la participación 21
   La alfabetización científica 24
   El enfoque ciencia, tecnología, sociedad (CTS) 31
   ¿Es posible una enseñanza interdisciplinaria de las ciencias? 35
   Temas transversales-interdisciplinares 38

2. ACERCA DE LA FORMACIÓN DOCENTE, POR ELSA MEINARDI 41
   Múltiples formas de exclusión 42
   Romper el círculo de la exclusión 45
   Transformar los procesos de formación docente 49
   Formación docente centrada en los contextos de desempeño 51
   Qué puede esperarse de la formación docente inicial 54

3. ¿Qué ciencia enseñar?, por Leonardo González Galli 59
¿Qué es la epistemología? 62
La imagen popular sobre la ciencia 65
¿Existe el método científico? 67
¿Es la observación objetiva el fundamento del conocimiento científico? 75
Entre el positivismo y el relativismo 81
La importancia de las epistemologías específicas 84
Pensar las prácticas 90

4. ¿Cómo enseñar ciencias?, por Elsa Meinardi 95
Enseñar y aprender: dos procesos distintos 96
Concepciones epistemológicas e implicaciones en la enseñanza 100
Dimensiones de la cognición 103
Hacer ciencia 105
Ir al laboratorio puede ser inútil 107
Cómo favorecer los procedimientos cognitivos de los estudiantes 109
Resolución de problemas 112
Distintos criterios para clasificar y analizar las actividades 116
Pensar las prácticas 121

5. El aprendizaje de los contenidos científicos, por Elsa Meinardi 131
Los errores de los estudiantes 137
Características de las ideas previas 139
Del "bestiario" de ideas previas a la búsqueda de los obstáculos 140
¿Tienen la misma relevancia los aprendizajes escolares y los socialmente compartidos? 142
Las representaciones como obstáculos del aprendizaje 144
Cambio conceptual y aprendizaje 148
La indagación de las ideas previas en el aula 151
Pensar las prácticas 154

6. Hablar y escribir ciencias, por Andrea Revel Chion 163
¿Hablar ciencia? 166
La comunicación y el impacto en el aprendizaje 168
El lenguaje cotidiano y el lenguaje científico 172
La autoevaluación y la autorregulación de las producciones 174
Algunas tipologías textuales relevantes para el aprendizaje de las ciencias 177
Pensar las prácticas 186

7. Educación en ambiente y salud, por Elsa Meinardi, María Victoria Plaza, Andrea Revel Chion 191
Ambiente y salud. Una relación inseparable 192
Algunas razones para abordar la problemática de la salud . 193
Educación sexual. Un repaso de su historia 204
Educación ambiental 212
Pensar las prácticas 221

8. La teoría de la evolución, por Leonardo González Galli 225
La "peligrosa idea de Darwin" 226
Las grandes preguntas de la biología evolutiva 227
La adaptación biológica y el modelo de evolución por selección natural 229
¿Cómo surgen nuevas especies? El proceso de *especiación* 240
El problema de la teleología 243
Pensar las prácticas 255

Bibliografía 261

PRESENTACIÓN

Educar en ciencias es el resultado de años de trabajo de un grupo de investigadores cuya filiación inicial proviene de la biología, la física, la química, preocupados y ocupados por alcanzar una educación científica de calidad que promueva la construcción de identidades dentro de la comunidad y genere compromisos para una activa participación. El libro refiere especial -pero no excluyentemente- a la educación en ciencias naturales. Sin embargo, es conveniente aclarar que si bien el término "ciencias" se usa con frecuencia para referirse a las naturales -lo cual parece habilitar la idea de que solo las naturales son ciencias-, nuestra concepción es bien diferente. Las disciplinas provenientes del campo de las ciencias sociales y humanas adoptan metodologías propias de la investigación científica con el mismo valor y legitimidad que las denominadas vulgarmente "ciencias duras".

Los trabajos que conforman cada uno de los capítulos de este libro son el resultado de muchos años de aprendizaje, discusión, reflexión, acción. Se trata de un proceso en construcción enriquecido cada vez por el diálogo al interior de una comunidad de práctica. Nos gusta pensar en estos términos porque en una comunidad de práctica todos aprendemos, porque el aprendizaje es social y continuo,

porque los nuevos miembros se van integrando al círculo desde la capa más externa y paulatinamente se acercan al centro de las experiencias, integrando al mismo tiempo a los nuevos externos. Porque permanecemos y trabajamos juntos a partir de intereses comunes, de actividades que nos convocan, que son objeto de placer y de preocupación, de intercambio de ideas y experiencias, y porque todo este aprendizaje desemboca en prácticas que lo reflejan. Estas incluyen el lenguaje, los roles, los criterios, los procedimientos, los propósitos, los contratos, lo que se dice y lo que se oculta, las normas no escritas, las reglas incorporadas, los valores; es una práctica social que crea significado e identidad. Y, al mismo tiempo, se trata de aprender en la práctica mediante la negociación de significados. Así, la práctica es una historia compartida de aprendizaje (Wenger, 2001).

En el marco de estos diálogos ha sido relevante –y por eso deseamos hacerlo explícito en esta presentación– la reflexión en torno al modo en que, en tanto práctica de escritura, nos referimos en este libro a los lectores y lectoras, investigadores e investigadoras. Detrás de términos como "lector", "redactor", "investigador" hay personas de otros sexos. Sin embargo, y solo en atención a la fluidez de la obra y para maximizar la comodidad en la lectura, optamos finalmente por evitar la inclusión constante de la marca genérica femenina (/a). Quisiéramos advertir al lector sobre el estado de letargo en el cual aceptamos con complacencia las formas de hablar tradicionales, formas de hablar que reflejan, aun de manera inconciente, modos de pensar. No se trata de un capricho, sino más bien de una militancia: es de suma importancia vigilar un lenguaje que retroalimenta nuestra forma de concebir el mundo.

En el capítulo 1, planteamos nuestros puntos de vista acerca de la educación científica para todos y todas. Resulta difícil encontrar a una persona que disienta –al menos de manera explícita– con la afirmación: "La educación debe ser liberadora". Sin embargo, cuando se trata de educación científica, no todos coinciden. ¿La educación científica es un lujo reservado a unos pocos o debería ser un bien común?

En el capítulo 2 exponemos el problema de la formación docente en relación con los contextos de aprendizaje. De qué manera el cono-

cimiento didáctico del contenido, como elemento constituyente de la práctica profesional docente, se vincula con las situaciones reales, con los alumnos y alumnas, las instituciones, las necesidades de los grupos más desfavorecidos socialmente, para aportar a la educación científica para todos, sin exclusión de la calidad.

El objetivo del capítulo 3 es cuestionar una imagen de la ciencia ampliamente difundida que sin embargo ha sido desacreditada por los estudios metacientíficos y que, además, tiene implicancias negativas para la enseñanza de las ciencias naturales. Sugerimos la conveniencia de pensar la ciencia como una actividad humana, no ajena al resto de los asuntos humanos: la ideología, los intereses personales, las representaciones sociales, los valores, entre otros.

El capítulo 4 está dedicado a la enseñanza de las ciencias, sin por ello olvidar que la reflexión sobre cómo enseñar siempre está ligada a una concepción acerca del valor que le otorgamos a la educación. Desarrollamos aquí algunos aspectos vinculados a las actividades que proponemos a los estudiantes para llevar a cabo su aprendizaje. Enseñar y aprender no son un único proceso ni guardan relaciones de isomorfismo, por eso proponemos analizar qué relación establecemos entre la forma en que concebimos el aprendizaje y su vínculo con la actividad científica y la enseñanza que planificamos.

En el capítulo 5 avanzamos sobre las denominadas "ideas previas de los estudiantes", concibiéndolas como instancias necesarias para la evolución del aprendizaje y no como sus enemigas. Mostramos los "obstáculos" como nociones que subyacen a las ideas previas, para transformarlos en objetivos de la enseñanza. De esta forma, aprender implica algo más que un cambio conceptual; se trata de un cambio representacional.

El capítulo 6 está dedicado a la problemática de la comunicación en ciencias. Los estudiantes llegan a la escuela y a los estudios superiores con serias dificultades de expresión, tanto oral como escrita. El profesorado asume que las destrezas relacionadas con la comunicación deben enseñarse y aprenderse en los niveles anteriores –sean estos cuales fueren–, y en las clases de Lengua. Nuestra intención es mostrar que aquellas habilidades se deben enseñar en contexto, esto es, vinculadas con los contenidos específicos de ciencias; además, a medida que los estudiantes son capaces de producir buenos textos,

sus representaciones acerca de los fenómenos del mundo son más robustas y adquieren mayor potencia explicativa.

En el capítulo 7 debatimos la enseñanza de temas complejos, como salud y ambiente, que muchas veces se intenta resolver –desde el discurso– de manera "simplista". La interdisciplina en el aula no es posible, salvo que la definamos como aquello que hacen dos personas juntas cuando planifican y dan clase (sumado a que las condiciones de posibilidad de esta situación son prácticamente inexistentes). Proponer el tratamiento de problemas complejos desde los "modelos de la complejidad" que no rescatan la realidad escolar es ir en contra de lo que se plantea actualmente: la construcción del conocimiento didáctico no puede desconocer el contexto. Incluimos algunos debates y propuestas para ayudar a los docentes a pensar cómo llevar adelante el tratamiento de problemáticas complejas sin caer en el reduccionismo biológico, sin por esto dar lugar a la concepción de que es posible hacer interdisciplina unipersonal.

En el capítulo 8 presentamos un recorte de esa variada familia de modelos que llamamos "teoría de la evolución". Más allá de los debates, los modelos aquí presentados gozan de amplia aceptación entre los expertos, además de ser de los más potentes en ciencias desde el punto de vista explicativo. Creemos necesario destacar este punto en tiempos en que desde distintos ámbitos (aunque raramente desde las ciencias biológicas) se sobredimensionan y malinterpretan los debates reales y se siembra la duda sobre cuestiones básicas que no son discutidas en la comunidad científica.

Para finalizar, quisiéramos extender un agradecimiento especial a la directora de la colección en cuyo marco se publica esta obra, Rosa Rottemberg, por la confianza que depositó en nuestro grupo al encargarnos esta tarea.

1. EL SENTIDO DE EDUCAR EN CIENCIAS

por Elsa Meinardi

Hasta hace unos 30 años –y en muchos ámbitos aún hoy en día–, la educación científica en la escuela media era considerada una etapa preparatoria para la formación universitaria.

El español José Antonio Acevedo Díaz describe una situación con la que muchos docentes nos sentimos identificados:

> Allá por los años setenta, cuando me iniciaba en la docencia como profesor de física y química de bachillerato, a veces algún alumno preguntaba con bastante sinceridad para qué servían aquellos conocimientos que impartía en el aula de ciencias. Cuando agotaba el repertorio de justificaciones prácticas o, quizás con más frecuencia, académicas –o si no tenía del todo claro qué decirle–, la respuesta indefectiblemente era: "ya lo verás más adelante o en los próximos cursos". No era esta una respuesta cínica ni tampoco la de un profesor indocumentado, sino que implícitamente estaba reflejando una concepción de la finalidad de la enseñanza de las ciencias que, en esa época –¿solo entonces?–, era dominante y casi incuestionable.
>
> En efecto, por aquellos años las enseñanzas básicas, medias y preuniversitarias de las ciencias, al menos en España –pero seguramente también en la mayor parte del mundo–, estaban absolutamente supeditadas

> a las exigencias de la enseñanza universitaria; de otra forma, en la jerga pedagógica actualmente al uso, la principal finalidad de la enseñanza de las ciencias era claramente propedéutica. Esto era lo académicamente correcto y, además, estaba bien visto por la mayoría de padres de los alumnos, pues son bien conocidas las enormes repercusiones familiares que tenían -y aún tienen- las pruebas de acceso a la universidad; ir en otra dirección, haberlo intentado siquiera, habría sido quizás muy aventurado y marchar, sin duda, contracorriente (2004: 3-4).

Este punto de vista sobre la finalidad propedéutica, según el cual la enseñanza de las ciencias en la escuela media debe orientarse a la selección de conceptos que servirán de base para los estudios superiores, sigue arraigada de manera firme en los sistemas educativos (Furió, Vilches, Guisasola y Romo, 2001; Pilot, 2000). No sería muy arriesgado decir que también está firmemente enraizada en las concepciones de muchos docentes de ciencias. Además, es sabido que es uno de los mayores obstáculos para emprender reformas efectivas de la educación científica.

Hay que tener presente que esta educación está dirigida a muy pocos estudiantes, ya que el porcentaje no supera habitualmente el 2% del total de jóvenes que cursan la escuela media. La inmensa mayoría de los alumnos no eligen carreras científicas cuando van a la universidad y cada vez hay menos cursando las orientaciones científicas en el bachillerato o escuela media, por lo que parece muy poco adecuado basar el currículo de ciencias casi exclusivamente en las necesidades de una minoría tan pequeña.

En este punto, es razonable preguntarse si los hechos enunciados son la causa o la consecuencia del problema. ¿El no establecer un currículo pensando en la formación de un futuro científico no será acaso la causa de que luego los jóvenes no elijan una carrera en ciencias en la universidad? Algunos autores proponen que los currículos orientados a las finalidades propedéuticas podrían haber dado lugar a una crisis de la enseñanza de las ciencias en la educación secundaria. Dar prioridad a las finalidades propedéuticas en etapas de la educación en que los jóvenes no están aún inclinados a seguir una orientación en ciencias tiende a provocar que muchos estudiantes pierdan su interés y se alejen aún más de las propias disciplinas científicas (Fourez, 2002; Sjøberg, 2003).

Una selección de contenidos orientada a que los estudiantes le encuentren sentido *más adelante o en los próximos cursos* (como menciona Acevedo Díaz); una formación que requiere un esfuerzo riguroso y sistemático el cual es fuertemente desalentado por los modelos culturales dominantes; una enseñanza basada en visiones deformadas de la actividad científica (Tedesco, 2006), y una expectativa de los aprendizajes centrada en la valoración de aspectos memorísticos y ritualizados que poco alientan el desarrollo de los desempeños que requiere la sociedad actual –muy lejos de los reproductores que se exaltaban hasta hace pocos años– son algunas de las posibles razones (obviamente de un conjunto mucho más complejo) que seguramente estarán en el centro del problema acerca de por qué los jóvenes eligen cada vez menos las carreras científicas.

Los datos estadísticos muestran que en varios países europeos los estudiantes de ciencias están disminuyendo. En Alemania, el número de estudiantes de física se redujo a un tercio entre 1990 y 1995; en Escocia, disminuyó de 5 a 1 el número de estudiantes de geología y, en Francia, cae permanentemente la cantidad de inscriptos en carreras científicas en la universidad (Tedesco, *op. cit.*). Son muchos los especialistas que advierten acerca de la disminución de los estudiantes de ciencias exactas y naturales en la mayor parte de las universidades de todo el mundo, aun en países que destinan importantes recursos e infraestructura para la formación en el campo. Este fenómeno ha sido atribuido a una variedad de factores que incluyen la pobre imagen de la actividad científica en términos de su impacto social y ambiental, la percepción de que se trata de disciplinas "muy difíciles" y el desconocimiento de las oportunidades de empleo en el sector (Baraldo, 2007).

La educación científica ha estado orientada, tradicionalmente, a la preparación de futuros biólogos, geólogos o físicos. En apariencia, esta podría ser una de las causas que actúa desalentando fuertemente aquello que se espera lograr, es decir, la elección de una carrera científica en la universidad. Podemos considerar que la educación científica en la escuela media es poco rigurosa, no prepara al alumno para desempeñarse en la universidad, "es pobre". Contrariamente a esta opinión, lo que está claro es que si se sigue en esta línea no se logrará que un número importante de estudiantes se acerque siquiera a la idea de seguir una carrera

vinculada con la física o la química. El espanto que esta educación produce en los jóvenes, hoy, hace que desistan prematuramente de su elección.

Ahora bien, por el contrario, si dicha orientación se modifica de manera que la educación científica sea planteada como parte de una educación general para todos los ciudadanos, ¿se contrapone esta "alfabetización científica" de la ciudadanía a la preparación de los futuros científicos? Creemos que no, que justamente genera –o debería generar, como hipótesis– un acercamiento más confiado de los jóvenes a las ciencias; una expectativa que al menos no los aleje, no los espante en el umbral del túnel y, por lo tanto, les permita ir más allá en su curiosidad. Afirmamos que no solo la alfabetización científica pensada para la ciudadanía no se contrapone a una preparación de futuros científicos, sino todo lo contrario: puede generar un mayor acercamiento de niños y jóvenes a la ciencia. No tendremos científicos para preparar si nunca llegan a –o al menos intentan– hacer una elección por las ciencias.

Ahora que acordamos –al menos en el discurso– que la alfabetización científica para todos puede ser útil a fin de acercar a los jóvenes a la elección de una carrera científica (esto implica –no hay que olvidarlo– cambiar varias cosas: los objetivos de aprendizaje, los contenidos que integran el currículo, las formas de enseñanza y de evaluación, entre otras), volvemos a la cuestión de si es posible y deseable una alfabetización científica para todos. Vamos a aclararlo: las explicaciones acerca del poder democratizador de la educación científica ya no gozan de un optimismo ingenuo (Tedesco, 2006).

Los motivos[1] que esgrimen las personas para justificar la importancia de la educación científica pueden ser muy variados; cada uno de ellos define características distintas para las ciencias a ser enseñadas. Aunque muchas de las finalidades que se mencionan pueden superponerse o estar incluidas unas en otras, se discuten aquí por separado debido a que son las formas en que las personas las mencionan cuando son interrogadas sobre el tema. En los

[1] La investigación realizada sobre opiniones puede verse en Acevedo Díaz (2004), adaptada del trabajo de Aikenhead.

próximos apartados de este capítulo desarrollaremos algunas de las justificaciones que aquí se esbozan.

Aprender ciencia sirve para:

a. Proseguir estudios científicos. Se trata de un objetivo propedéutico, como ya mencionamos. Así, los contenidos de enseñanza deben centrarse en aquellos más ortodoxos y tradicionales.

b. El trabajo. Los contenidos ortodoxos deben ser subordinados a la adquisición de capacidades más generales que permitan la inserción laboral en distintos campos.

Estas dos posturas han marcado muchas veces el eje del debate en relación con las finalidades de la educación en la escuela media.[2] ¿Deben existir escuelas técnicas, que preparan fundamentalmente para el mundo del trabajo? El plan de estudios de la educación polimodal que se instrumentó en la Argentina en épocas recientes se basa en dicha premisa, y de alguna forma constituye una oposición a la formación general. Las escuelas "enciclopedistas", o con materias como griego y latín, que prepararían para el pensamiento de orden general –sustentadas en la idea de que se puede aprender una estrategia de pensamiento general que luego puede ser transferida a otras áreas–, tienen planes de estudio más próximos a una formación universitaria o de nivel superior posterior. No es difícil distinguir aquí dos objetivos de la educación que frecuentemente se han percibido como contrapuestos.

c. "Seducir" al alumnado. Es la ciencia que aparece en medios de comunicación de masas: revistas de divulgación, documentales de televisión, etc. Se tiende a mostrar los aspectos más sensacionalistas o espectaculares para atraer al público, aunque el fin último podría ser orientarlo hacia carreras científicas –como ha ocurrido con programas médicos, por ejemplo–,[3] en cuyo caso el objetivo se relaciona con el primero de

[2] No extenderemos el debate sobre este tema aquí, pero es interesante revisar los planes de estudio que han regido la formación en la escuela media de muchos países en los últimos años para tener datos de esta contraposición.

[3] Algunos programas televisivos de la década del sesenta, como *Ben Casey* y *Doctor Kildare*, sirvieron para orientar la elección hacia carreras de medicina de muchos jóvenes en los Estados Unidos, en momentos en que su número era escaso.

esta lista, o para hacer de las ciencias un contenido más accesible en la escuela, entre otros.

d. Tomar decisiones en los asuntos públicos tecnocientíficos. Se enfoca en la preparación para enfrentarse a cuestiones de interés social relacionadas con la ciencia y la tecnología, y la toma de decisiones informadas sobre ellas.

Algunas personas consideran, en contraposición, que las decisiones deben ser tomadas por expertos. En ese caso, la educación científica cumple muchas finalidades, como hacer agradable la vida, satisfacer curiosidades personales o brindar el placer de saber, por ejemplo, pero de ninguna manera para que el público profano se inmiscuya en la toma de decisiones. Nosotros, por el contrario, consideramos que en cuestiones de salud, de ambiente, de gestión, de política, de economía, y un sinfín de cuestiones más, el poder ciudadano, el poder del reclamo popular, el poder del público frente al consumo o no consumo de un producto, es una forma de decisión que debe basarse en la educación. La educación es la fuente del derecho ciudadano. Hay algo de retrógrado en pensar que las decisiones las toma el experto sin posibilidad de control del ciudadano; es volver a la idea –para algunos es permanecer en ella– del voto calificado.[4]

e. La vida cotidiana. Se enfatizan aquí los contenidos de carácter aplicable, como la educación ambiental, para la salud, para el consumidor, seguridad vial o del trabajo (los denominados, por algunos, "contenidos transversales").

Más allá de la necesaria discusión acerca de las finalidades de la educación, afirmamos que es fundamental que los conocimientos que se enseñan en las escuelas puedan ser aplicados por los estudiantes a cuestiones cotidianas. No estamos afirmando que todos debemos conocer el fundamento de todas y cada una de nuestras acciones

[4] Es interesante en estos momentos revisar los debates y comprender los argumentos que se esgrimen en la investigación acerca de por qué la gripe A fue catalogada como epidemia por la OMS y el cambio de definición de epidemia que se propició recientemente.

cotidianas, pero al menos se trata de llevar el objetivo enunciado en el punto anterior a una escala básica: ¿se debe aplicar una vacuna a un niño?, ¿cuáles son los cuidados que hay que instrumentar para evitar el dengue?, ¿sirve la pastilla anticonceptiva para prevenir la infección por VIH?, ¿hay posibilidades de embarazo en una pileta de natación en la que no se tienen relaciones sexuales? ("¿puede vivir un espermatozoide en una pileta de natación?" sería la pregunta adecuada), y muchas cuestiones más con las que nos enfrentamos todos los días y sobre las que el conocimiento científico personal tiene algo para decirnos y ayudar, así, a mejorar nuestra calidad de vida y el ambiente en general.

f. Satisfacer curiosidades personales. Presta especial atención a los temas que puedan ser relevantes para los estudiantes. Por ejemplo, los vinculados con su propia cultura o lugar de procedencia.

g. Poseer una cultura más amplia. Este punto de vista no se contrapone a los anteriores. Coloca el conocimiento científico en un plano de igualdad con otras clases de conocimiento, como el literario, el humanístico o el social. Desde esta perspectiva, el conocimiento científico forma parte del capital cultural que deben poseer los ciudadanos.

En los currículos escolares de muchos países, como consecuencia de que la educación de nivel medio se ha vuelto obligatoria, ha surgido la necesidad de extender la educación científica a toda la población escolar. Esto ha llevado a profundos debates acerca de cuáles deberían ser las finalidades de una enseñanza de las ciencias para todos.

EDUCACIÓN CIENTÍFICA PARA LA PARTICIPACIÓN

Conviene analizar cuidadosamente las razones que justifican, o no, las propuestas de "ciencia para todos".

Algunos autores ponen en duda la conveniencia e incluso la posibilidad de que la mayor parte de las personas logren una formación

científica útil. A través de trabajos bien documentados que pretenden "sacudir aparentes evidencias", califican de auténtico mito la necesidad de alfabetizar científicamente a toda la población (Shamos, 1995). Una tesis pragmática, muchas veces sostenida, es que los futuros ciudadanos se desenvolverán mejor si adquieren una base de conocimientos científicos, dado que las sociedades se ven cada vez más influidas por las ideas y productos de la tecnociencia. Una segunda razón (tesis democrática) es que constituye un requisito para hacer posible la participación ciudadana en la toma de decisiones (Fensham, 2002).

Ambas razones han sido criticadas; en el primer caso se argumenta que, en general, los productos tecnológicos están concebidos para que los usuarios no tengan ninguna necesidad de conocer los principios científicos en los que se basan. En el segundo caso, se menciona que, salvo los expertos, los ciudadanos no participan verdaderamente en la toma de decisiones. Entonces, ¿debemos renunciar a una participación ciudadana fundamentada en la toma de decisiones y dejar esas decisiones en manos de los expertos?

La Declaración de Budapest (surgida de la Conferencia Mundial sobre la Ciencia para el siglo XXI, realizada en 1999) responde diciendo que la alfabetización científica es necesaria "a fin de mejorar la participación de los ciudadanos en la adopción de decisiones relativas a las aplicaciones de los nuevos conocimientos". Y los *National Science Education Standards* argumentan que "todos necesitamos ser capaces de implicarnos en discusiones públicas acerca de asuntos importantes que se relacionan con la ciencia y la tecnología".

Cada vez más se reconoce que los conocimientos provenientes del campo de las ciencias se producen y se han vuelto necesarios en distintos ámbitos. Multitud de conceptos y destrezas han dejado de ser patrimonio exclusivo de los científicos, y han pasado a formar parte del lenguaje común. Numerosos ejemplos dan cuenta de esta descripción: organizaciones jurídicas o no gubernamentales que recomiendan pruebas de ADN para la determinación de parentescos; las decisiones en relación con qué alimentos consumir (recuérdese la "vaca loca" o el síndrome urémico hemolítico); las asociaciones de portadores de VIH la elección de una fecundación *in vitro*: la interpretación de la información relacionada con las causas actuales del aumento de enfermos de sífilis, o la comprensión de las normas de higiene y cuidado frente a

epidemias –o pandemias– como la recientemente desatada de gripe A, entre otras cuestiones (Jiménez Aleixandre, 2002).

Ya no es posible reservar la cultura científica a una elite. Es necesario que amplios sectores de la población accedan al conocimiento científico a fin de que los prepare para la comprensión del mundo en que viven (Macedo, 2002). De esta forma, podemos decir que se concibe la necesidad de producir una ciudadanía científicamente culta. Quienes no acceden a una educación de calidad tienen limitadas las posibilidades de un pleno ejercicio de sus derechos y de participación en la sociedad (López y Tedesco, 2002).

En la Declaración de Budapest (1999) se señala que para que un país esté en condiciones de atender a las necesidades fundamentales de su población, la enseñanza de las ciencias y la tecnología es un imperativo estratégico. De esta manera, la enseñanza científica, en sentido amplio, sin discriminación y que abarque todos los niveles y modalidades, es considerada un requisito esencial de la democracia. En esta declaración se reconoce que la mayor parte de los beneficios derivados de la ciencia están desigualmente distribuidos a causa de las asimetrías estructurales existentes entre los países, las regiones y los grupos sociales, además de entre los sexos. Lo que distingue a los pobres (sean personas o países) de los ricos no es solo que poseen menos bienes, sino que la gran mayoría de ellos están excluidos de la creación y de los beneficios del saber científico (Macedo, 2005). Se ve, por tanto, que es un factor clave que la ciencia se convierta en un bien compartido solidariamente en beneficio de todos los pueblos, que se reconozca la necesidad cada vez mayor de contar con conocimientos científicos para la adopción de decisiones, así como que el acceso al saber científico desde una edad muy temprana forme parte del derecho a la educación y que la enseñanza de la ciencia sea reconocida como fundamental para la plena realización del ser humano, de manera de contar con ciudadanos activos e informados.

La enseñanza de las ciencias es un área en la que se han multiplicado los abordajes ya que hay un acuerdo básico acerca de la necesidad de que cada ciudadano debe poseer una cultura científica que le permita, por un lado, entender el mundo y la sociedad en la cual está inmerso y, a la vez, interactuar con ellos. Por esta razón se evidencia una prioridad impostergable: mejorar los aprendizajes de los alumnos; sin embargo

hay muy poco acuerdo acerca de la forma de hacerlo. La participación en la vida ciudadana requiere cada vez más del manejo de esta formación científica. El objetivo fundamental es democratizar el acceso de los niños a esta área del conocimiento, lo que les permitirá mejorar su calidad de vida y su acción como ciudadanos (Macedo y cols., 2006).

En apoyo de esta concepción, se señala que la mayor parte de los beneficios de la ciencia y de la tecnología están desigualmente distribuidos; esto se traduce en inequidad e injusticia entre países, y dentro de ellos se conoce la existencia y permanencia de grupos excluidos del conocimiento científico y del uso de sus beneficios, exclusión por pertenencia a etnias, sexo, grupos sociales o geográficos. Y se continúa afirmando que la ciencia y la tecnología no solo deben responder a las necesidades de la sociedad para posibilitar la mejora de las condiciones de vida de la mayor parte de la población que vive en situaciones de pobreza extrema; además, los avances científicos deben ser bien utilizados por los ciudadanos, y para que esto sea posible deben conocerlos. En ese sentido, la educación científica ocupa un lugar clave para mejorar la calidad de la vida y la participación ciudadana.

Podemos concluir esta parte señalando que de la educación científica se espera que, además de ser una educación *para las ciencias*, sea además una educación que, *a través de las ciencias*, contribuya a la formación de una ciudadanía participativa, es decir, una educación científica *para la acción*. La educación científica y tecnológica cobra así la dimensión de apropiación del conocimiento con el fin de promover el uso de la ciencia en diferentes ámbitos, y de lograr el análisis crítico de los modelos sociales y las relaciones de estos con las formas de intervención sobre el mundo (Meinardi y Revel Chion, 1998).

LA ALFABETIZACIÓN CIENTÍFICA

En los últimos años, se asocia la enseñanza de las ciencias a lemas como:

- Alfabetización científica y tecnológica.
- Comprensión pública de la ciencia.
- Ciencia para todas las personas.

- Cultura científica y tecnológica.
- Educación CTS (ciencia, tecnología y sociedad), entre otros.

Estas expresiones aparecen en informes sobre política educativa de muchos organismos:

- UNESCO (1990, 1994).
- International Council for Science (UNESCO-ICSU, 1999).
- International Bureau of Education (Poisson, 2000).
- Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura (OEI, 2001).

Y también en declaraciones de asociaciones profesionales que fomentan proyectos para la educación científica y tecnológica:

- American Association for the Advancement of Science (AAAS, 1990, 1993).
- International Technology Education Association (ITEA, 2000).
- National Science Teachers Association (NSTA, 1991).
- National Research Council (NRC, 1996).

Desde hace aproximadamente una década, y coincidiendo con las reformas educativas planificadas, desarrolladas e implementadas en muchos países durante los años noventa, se ha incorporado al lenguaje cotidiano de la didáctica de las ciencias experimentales el lema *alfabetización científica*, como expresión metafórica que establece de manera muy amplia determinadas finalidades y objetivos de la enseñanza de las ciencias (Bybee, 1997). Aunque actualmente su utilización es común en todo el mundo, su origen es la expresión inglesa *scientific literacy*. Con antecedentes que se remontan al menos hasta mediados del siglo XX, procede sobre todo de Estados Unidos, donde se acuñó como respuesta a la preocupación por la idea de inferioridad científica y tecnológica que provocó en la sociedad estadounidense la puesta en órbita del primer *Sputnik*[5] por la Unión Soviética –en 1957– y

[5] Primer satélite artificial puesto en órbita.

las consiguientes repercusiones políticas, militares y sociales de este importante acontecimiento tecnológico (Acevedo Díaz, 2004).

La denominación alfabetización científica (AC) fue usada por primera vez en 1958 por Paul DeHart Hurd al hablar de cuáles deberían ser los objetivos de la enseñanza de las ciencias, mientras que en la década de 1960 se plantea la necesidad de desarrollar relaciones fructíferas entre la ciencia y la sociedad. Así, cobra fuerza el movimiento CTS (ciencia, tecnología y sociedad), que surge fuera del marco de la educación. A partir de los años ochenta, comienza a ponerse el acento en el contexto social, y la alfabetización científica se entiende como la capacidad de usar el conocimiento científico en la toma de decisiones.

En 1982, la Asociación Nacional de Educadores de Ciencias (National Science Teachers Association - NSTA), de Estados Unidos, señala que *una persona alfabetizada científicamente* es quien conoce los principales conceptos, hipótesis y teorías de la ciencia y es capaz de usarlos en la resolución de problemas, la comprensión del mundo y la toma de decisiones; es capaz de comprender que la sociedad controla la ciencia y la tecnología a través de la provisión de recursos; lleva a cabo procedimientos cognitivos y considera los valores en la toma de decisiones; reconoce las limitaciones así como las utilidades de la ciencia y la tecnología en la mejora del bienestar humano; diferencia entre comprobación científica y opinión personal y tiene una rica visión del mundo como consecuencia de la educación científica y tecnológica.

La American Association for the Advancement of Science propuso en 1985 un amplio estudio nacional, encaminado a elevar el interés por la ciencia en escuelas e institutos. Después de cuatro años de deliberaciones y consultas, fueron publicadas sus recomendaciones en un informe titulado *Science for All Americans* (Ciencia para todos los norteamericanos). Ese mismo año, la Sociedad Real Británica da a conocer un documento denominado *The Public Understanding of Science* (La comprensión pública de la ciencia), el cual es considerado un referente importante para la discusión acerca de los niveles deseables en dicha alfabetización. En el documento se afirma que la AC es un objetivo amplio que excede la escuela y en el que deben comprometerse todas las fuerzas sociales.

Esta asignación es fuerte, ya que saca el centro del problema de la AC como objetivo de la escuela y lo coloca en un nivel de prioridad

política. Este enfoque permite cambiar las discusiones sobre estrategias educativas en general y las destinadas a promover el aprendizaje científico del marco estrecho de una discusión puramente pedagógica para ponerla en el marco de la discusión sobre un proyecto de sociedad. Hoy no existe separación entre formación científica y formación ciudadana (Tedesco, 2006: 7).

En los *National Science Education Standards* (1996), auspiciados por el National Research Council, se menciona: "En un mundo repleto de productos de la indagación científica, la alfabetización científica se ha convertido en una necesidad para todos".

Lo que llamamos alfabetización científica responde a una herramienta básica: saber leer la realidad (Marco-Stiefel, 2002). Algunos autores han llegado a comparar la promoción de la alfabetización científica y tecnológica con la alfabetización lecto-escritora que resultó necesaria para la integración de las personas, en la sociedad industrializada a finales del siglo XIX (Fourez, 1997).

Hablar de alfabetización científica como síntesis de los fines de la enseñanza de las ciencias pretende trasladar el énfasis desde el manejo de la información hasta el desarrollo de competencias que permitan apropiarse del conocimiento científico, tanto de sus conceptos y teorías como de las destrezas asociadas a su construcción. El paralelismo se establece con la alfabetización que logra no solo que la persona que aprende a leer reconozca las letras sino que sea capaz de usar las nuevas competencias para desentrañar el significado de un texto, para comprender lo que otra comunica a través de él, e incluso para elaborar sus propios textos y comunicarse con los demás. De igual forma, la alfabetización científica, más allá del reconocimiento de términos o símbolos, se encamina al uso del conocimiento adquirido en la interpretación de los fenómenos físicos y naturales, en la resolución de problemas, en el procesamiento de información de distintas fuentes y en la evaluación crítica de esta información (Jiménez Aleixandre, 2002).

Características de la alfabetización científica

Podemos agrupar en tres dimensiones los rasgos de la alfabetización científica señalados por diferentes investigadores en didáctica de las ciencias (según Kemp, 2002):

- *Conceptual* (comprensión y conocimientos necesarios). Sus elementos más citados son: *conceptos de ciencia* y *relaciones entre ciencia y sociedad.*
- *Procedimental* (procedimientos, procesos, habilidades y capacidades). Los rasgos que se mencionan con más frecuencia son: *obtención y uso de la información científica, aplicación de la ciencia en la vida cotidiana, utilización de la ciencia para propósitos sociales y cívicos* y *divulgación de la ciencia al público de manera comprensible.*
- *Afectiva* (emociones, actitudes, valores y disposición ante la alfabetización científica). Los elementos más repetidos son: *aprecio a la ciencia e interés por la ciencia.*

Los especialistas reconocen que las tres dimensiones señaladas deben estar siempre presentes en la alfabetización científica, pero que el énfasis que se ponga en cualquiera de ellas puede aumentar o disminuir en una época o en otra, como de hecho ya ha ocurrido. Combinando estas dimensiones con los argumentos que dan los expertos en didáctica de las ciencias para justificar por qué consideran que la alfabetización científica es la finalidad más importante de la enseñanza de las ciencias, se han establecido tres tipos de alfabetización científica basados en los beneficios *personales, prácticos y formales.*

La alfabetización científica *personal* es la que destaca elementos de la dimensión conceptual y razones de la escala individual. Aunque en menor grado, también se subrayan rasgos de la dimensión afectiva. Desde esta perspectiva, la alfabetización científica radica sobre todo en comprender un amplio rango de conceptos y usar un extenso vocabulario científico en la vida cotidiana y en la cultura propia. Se incluyen también otros elementos como apreciar la historia de la ciencia, comprender la divulgación científica e interesarse por la ciencia en la escuela, y estar motivado para seguir aprendiendo ciencia después de la escolarización formal.

En la alfabetización científica *práctica* se hace hincapié en rasgos de la dimensión procedimental y justificaciones de la escala práctica. En segundo plano, se destaca otra vez la dimensión afectiva. Desde este punto de vista, la alfabetización científica consiste especialmente

en saber usar la ciencia en la vida cotidiana y con propósitos cívicos y sociales. Otros elementos característicos son: saber obtener información sobre ciencia, comprender la divulgación de la ciencia y los mensajes que dan los medios de comunicación de masas, entender las relaciones entre ciencia y sociedad, conocer algunos conceptos básicos de ciencia y apreciar la ciencia siendo consciente también de sus limitaciones.

La alfabetización científica *formal* es la que incluye rasgos de todas las dimensiones y argumentos; esto es, tanto de la escala personal como de la práctica. En algunos casos se pone un poco más el acento en algunos dominios y dimensiones que en otros pero, en general, se incide en todos ellos. Desde esta posición, la alfabetización científica implica muchas cosas: conocer conceptos de ciencia, tener una amplia comprensión de los principios científicos, saber sobre la naturaleza de la ciencia y las relaciones entre ciencia y sociedad, obtener información científica, utilizarla y ser capaz de comunicarla a otras personas, desarrollar una aptitud para usar la ciencia en la vida cotidiana y participar democráticamente en la sociedad civil a fin de tomar decisiones sobre asuntos relacionados con la ciencia y la tecnología. Además, apreciar la ciencia, interesarse por ella y estar al día de las novedades científicas.

Alfabetización científica: ¿la misma para todos?

En este punto pretendemos romper la sensación de acuerdos en la que nos encontramos. Por un lado, lo que denominamos alfabetización científica no tiene un significado unívoco. Esto se pone de manifiesto por las marcadas diferencias que pueden observarse en las diversas definiciones y el escaso acuerdo que suele haber sobre su significado (Bybee, 1997; Gil Pérez y Vilches, 2006), incluso entre los propios especialistas en didáctica de las ciencias (Kemp, 2002), lo que hace muy difícil su definición operativa. Por otro lado, no siempre el término alfabetización científica estuvo asociado a ciencia para todos (el surgimiento de este última corriente es posterior) (Acevedo Díaz y cols., 2003). Sumado a esto, no hay acuerdos completos sobre qué significa una "ciencia para todos". ¿Es una ciencia igual o distinta para todos?

La idea de ciencia para todas las personas significa una enseñanza de las ciencias que no excluya a nadie (Fensham, 1985, 2000; Hodson y Reid, 1988; Reid y Hodson, 1989); el lema de ciencia para todas las personas se refiere a cómo hacer más accesible, interesante y significativa la ciencia escolar y, sobre todo, hacerla significativa para cada alumno (Rascoe y cols., 1999; Tippins y cols., 1998). Sin embargo, en la práctica, esta orientación puede implicar procesos bien distintos, por ejemplo, la elección de diferentes contenidos de ciencia para estudiantes distintos (Tippins, Nichols y Kemp, 1999) o, por el contrario, un currículo común para todos.

Diferentes contenidos para diferentes alumnos. En este caso la elección podría resultar en un currículo "pobre" para algunos y "rico" para otros. En contra de esta idea se señalan los peligros derivados de los cursos alternativos de ciencias en función de, por ejemplo, poblaciones urbanas o rurales, o la diversidad cultural, entre otras.

Un currículo común para todos. Algunos especialistas señalan que no significa ni idénticos contenidos, ni experiencias de aprendizaje iguales, ni tampoco las mismas expectativas de conocimientos y capacidades finales (Reid y Hodson, 1989). ¿Por qué se habla entonces de un currículo común? Porque comparten las finalidades educativas: experiencias significativas de ciencias y actividades científicas para todos los estudiantes que les permitan conseguir grados de alfabetización científica (Reid y Hodson, 1989, p. 28 de la traducción al castellano, 1993). Como puede verse, la expresión *alfabetización científica* es polisémica.

Esta discusión es, desde nuestra perspectiva, uno de los puntos centrales cuando se debate acerca de las finalidades de la educación científica.

¿La misma educación científica para todos? ¿De qué sirve enseñar a leer la realidad a chicos que viven entre la basura? ¿No sería más fructífera una educación menos reflexiva y crítica, pero que los haga lavarse las manos cada vez que vuelven de la calle? Así, este tipo de preguntas nos lleva directamente de la discusión teórica a la realidad de la toma de decisiones diaria. Volveremos sobre este punto más adelante porque, probablemente, si no saldamos esta discusión no quedaremos en buenas condiciones para enseñar ciencias en la escuela.

EL ENFOQUE CIENCIA, TECNOLOGÍA, SOCIEDAD (CTS)

Uno de los primeros antecedentes del enfoque CTS en enseñanza de las ciencias se encuentra en el texto de Paul DeHart Hurd (1975) titulado *Science, technology, and society: new goals for interdisciplinary science teaching* (Ciencia, tecnología y sociedad: nuevas metas para la enseñanza interdisciplinaria de la ciencia), el cual delineaba una estructura curricular para la enseñanza de las ciencias en la escuela. En los años siguientes surgieron rápidamente, y en muchos países, diferentes proyectos en apoyo a esta meta. Describiremos brevemente las características del enfoque CTS y luego la relación con las propuestas de "ciencia para todos".

En su artículo "Educación Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS): una buena idea como quiera que se llame", Aikenhead realiza un recorrido muy interesante acerca de esta orientación en la enseñanza de las ciencias y menciona la necesidad de desarrollar una comprensión pública de la ciencia y la tecnología que permita la aproximación entre dos culturas, la de "ciencias" y la de "letras". Esta comprensión tiene principalmente el propósito de que las personas puedan participar democráticamente en la evaluación y la toma de decisiones sobre asuntos de interés social relacionados con la ciencia y la tecnología; una finalidad educativa que es crucial para el movimiento CTS.

En apoyo de esta tendencia Acevedo Díaz (2004) cita dos opiniones:

> Una premisa básica del movimiento CTS es que, al hacer más pertinente la ciencia para la vida cotidiana de los estudiantes, estos pueden motivarse, interesarse más por el tema y trabajar con más ahínco para dominarlo. Otro argumento a su favor es que, al darle relevancia social a la enseñanza de las ciencias, se contribuye a formar buenos ciudadanos; es decir, al concienciar a los estudiantes de los problemas sociales basados en la ciencia, estos se interesan más por la propia ciencia (Shamos,1993).

> Si hubiera que enunciar en pocas palabras los propósitos de los enfoques CTS en el ámbito educativo, cabría resumirlos en dos: mostrar que la ciencia y la tecnología son accesibles e importantes para los ciudadanos (por tanto, es necesaria su alfabetización tecnocientífica) y propiciar el aprendizaje social de la participación pública en las de-

cisiones tecnocientíficas (por tanto, es necesaria la educación para la participación también en ciencia y tecnología) (Martín-Gordillo, 2003).

Según distintos autores, algunos de los aportes que recibe la enseñanza de las ciencias cuando se realiza con un enfoque CTS son los siguientes:

- La inclusión de la dimensión social de la ciencia y la tecnología en la enseñanza de las ciencias.
- La relevancia de los contenidos para la vida personal y social para resolver algunos problemas cotidianos.
- Los objetivos democratizadores para tomar decisiones responsables en asuntos públicos.
- La identificación de cuestiones clave relacionadas con la ciencia y la tecnología, el acceso a información, su interpretación, análisis, evaluación, comunicación y utilización.
- El papel humanístico y cultural de la ciencia y la tecnología.
- La consideración de la ética y los valores de la ciencia y la tecnología.
- El papel del pensamiento crítico en la ciencia y la tecnología.

Con respecto a las relaciones entre el enfoque CTS y ciencia para todos, en un artículo ya clásico Michael Matthews (1994) propone que en la amplia difusión de programas de ciencia, técnica y sociedad (CTS) se dé una mayor apertura para la contribución histórica y filosófica a la enseñanza de las ciencias. Los partidarios de la historia y filosofía de las ciencias (HFC) en su enseñanza están defendiendo, de algún modo, una versión contextualizada de la enseñanza de las ciencias. Es decir, una enseñanza de las ciencias que enseñe ciencias en su contexto social, histórico, filosófico, ético y tecnológico. Matthews sostiene que sería extraño pensar en un buen profesor de literatura que no conociera elementos de crítica literaria: el tradicional debate sobre qué identifica a la buena literatura, cómo la literatura se relaciona con los intereses sociales, la historia de las formas literarias, etc. También sería igualmente extraño pensar en un buen profesor de ciencias que no tuviera un conocimiento razonablemente elaborado de los términos de su propia disciplina –causa, ley, explicación, mode-

lo, teoría, hecho-, un conocimiento de los objetivos, frecuentemente conflictivos, de su campo -describir, controlar, comprender- o un conocimiento de su dimensión cultural e histórica. Si estar alfabetizado es comprender con cierta profundidad las palabras y conceptos de un discurso, entonces la historia y filosofía de la ciencia contribuyen claramente a una "alfabetización" científica más profunda y crítica. Se trata de ayudar a la gran mayoría de la población a tomar conciencia de las complejas relaciones entre ciencia y sociedad, para permitirle participar en la toma de decisiones y, en definitiva, considerar la ciencia como parte de la cultura de nuestro tiempo.

Así, podemos afirmar que las interacciones CTS han pretendido romper con visiones descontextualizadas de la ciencia y la actividad científica a las que, lamentablemente, la enseñanza contribuye con la presentación desproblematizada de conocimientos elaborados y olvidando aspectos sociales, históricos, éticos, etc., que enmarcan el desarrollo científico (Gil Pérez y cols., 1991; Solbes y Vilches, 1997; Hurd, 1998).

Sin embargo, no todos son acuerdos. La línea o enfoque CTS ha sufrido varios embates. Para dar cuenta de ellos, volvamos a una sucinta definición:

Se trata básicamente de "enseñar los conceptos y procesos científicos incrustados en la sociología de la ciencia, la tecnología relevante y los asuntos sociales" (Aikenhead, 2005). Y, como ya mencionamos, según Hurd consiste en la enseñanza interdisciplinaria de la ciencia".

En un recorrido por el tema, Aikenhead[6] expresa:

> Es interesante ver hacia atrás hasta 1982 y reconocer que la mayoría de los educadores que habían sido socializados en la ciencia académica no estaban a gusto con la inclusión de la tecnología en CTS. Esto explica su reticencia original para adoptar el lema CTS. Su limitada visión de la tecnología como una ciencia aplicada necesitaba ser confrontada y reconceptualizada dentro de una perspectiva más auténtica.
> [...]

[6] Recomendamos leer el artículo completo en: <http://garritz.com>.

> Otro tema que emerge es la complejidad con la cual los programas CTS abordan el contexto social de la ciencia. Curiosamente, [...] algunos escritos tempranos eran caracterizados por una influencia en un solo sentido de la ciencia/tecnología sobre la sociedad; una visión "ciencia-céntrica". De proyecto en proyecto y de país en país, el alcance del contexto social de la ciencia en los materiales CTS ha sido, por muchas razones, limitado. Por ejemplo, algunos proyectos CTS se centraban en los asuntos relacionados con la ciencia en la sociedad pero dejaban sin cuestionar las anacrónicas nociones positivistas de la ciencia de muchos currículos científicos. Un abordaje más integral incluye el contexto social interno (la epistemología, sociología e historia de la propia ciencia), así como el contexto social externo de la ciencia. Nuevamente recuerdo mis sesgos tempranos a favor de la epistemología de la ciencia.

En la práctica sería muy difícil definir en qué consiste un proyecto con enfoque CTS; las experiencias en educación han sido muy variadas. Esto puede deberse, por un lado, a que en algunos países ha habido proyectos escolares en los que se ha enfatizado el ambiente (agregándole una E -*environment*- o una A -ambiente-). Por otro lado, al hecho de no haber acuerdo respecto de los objetivos de una educación con enfoque CTS: "los educadores en ciencia han luchado sin éxito con el mismo dilema, ¿cómo preparamos a los estudiantes para ser ciudadanos informados y activos, y, al mismo tiempo, cómo preparamos futuros científicos, ingenieros y médicos?" (Aikenhead, *op. cit.*). Estas dos perspectivas retoman las posturas enunciadas al principio de este capítulo -cuando exponíamos los puntos de vista que manifiestan las personas al ser interrogadas acerca de cuál es la finalidad de aprender ciencias-, que dan cuenta también de posiciones incompatibles expresadas en las decisiones curriculares. Algunos educadores consideran que el enfoque CTS resuelve esta incompatibilidad sin necesariamente socavar la educación científica.

Sumada a esta pluralidad, las dificultades en la implementación de estos enfoques han llevado a resultados muy heterogéneos, en general con éxito escaso. La diversidad que se observa en la consideración acerca de qué significan y cómo llevarlos adelante hace que el profesorado perciba que la orientación CTS basada en los

procesos sociales de la ciencia y la tecnología resulta demasiado alejada de la enseñanza habitual de las ciencias, porque hace referencia a las interrelaciones desde otras perspectivas disciplinares, ocupándose de aspectos filosóficos (epistemológicos, éticos, etc.), sociológicos (internos y externos a las comunidades de científicos y tecnólogos), históricos, políticos (toma de decisiones, cuestiones legales, defensa nacional, etc.), económicos y estéticos (Acevedo Díaz y cols , 2005).

Este diagnóstico resulta fundamental, ya que apunta al hecho de que la enseñanza de las ciencias con un enfoque CTS es difícil de instrumentar en el aula. Los profesores pueden coincidir en la necesidad de acercar los modelos y principios científicos a aspectos más concretos y tangibles para los estudiantes, y también en mostrar que la ciencia no es neutral, que se construye en un momento histórico y social, que sus postulaciones son continuamente revisadas –aspectos que trataremos en otro capítulo–, pero esto dista mucho del énfasis *interdisciplinario* que algunos proyectos que se denominan CTS esperan de la enseñanza.

¿ES POSIBLE UNA ENSEÑANZA INTERDISCIPLINARIA DE LAS CIENCIAS?

Creemos que no. Al respecto, citaremos un texto de nuestra autoría (Meinardi y González Galli, 2009):

> Revisemos primero qué significa una investigación interdisciplinaria. Para definirla, tomamos como referente a Rolando García, un investigador argentino que trabajó –y aún trabaja– en problemas ambientales complejos. Acordamos con la idea de que para llevar adelante una investigación interdisciplinar hace falta un equipo multidisciplinar (formado por especialistas de distintas disciplinas) que utilice una metodología interdisciplinar. En ella, el problema a ser investigado se define y diagnostica de manera integrada. Es decir, y este es el punto clave, no se trata de la suma de datos o la articulación de resultados provenientes de cada disciplina sino, por el contrario, el problema es diagnosticado y abordado como un todo, de la misma forma que en un diagnóstico médico es necesario conocer la anatomía y la fisiología de

cada uno de los componentes (órganos o subsistemas), así como su armonización o desarmonía en el comportamiento general del individuo (sistema) (García, 2006: 26).

El trabajo interdisciplinar entendido como una construcción de un nuevo objeto científico a partir de la colaboración de distintas disciplinas se ha consumado en muy pocos casos de la historia de la ciencia (García, *op. cit.*).

Frente a esto, surgen preguntas que, según nuestro punto de vista, se han respondido de manera muy superficial. Tan superficial que finalmente dan por resultado que la enseñanza de las ciencias se remita, en la inmensa mayoría de los casos, a una instrucción centrada únicamente en la disciplina científica "despojada", sin los aportes *filosóficos (epistemológicos, éticos...), sociológicos (internos y externos a las comunidades de científicos y tecnólogos), históricos, políticos (toma de decisiones, cuestiones legales, defensa nacional...), económicos y estéticos de las ciencias sociales,* como ya mencionamos.

Lo que planteamos aquí es que se enseña biología, física, química o geología, de manera monodisciplinar. *Damos* –también algunas veces *enseñamos*– biología con elementos de física o de química cuando tenemos que hablar, por ejemplo, de luz y fotosistemas químicos, y hasta allí llega nuestra habilidad con la interdisciplina. Pero la razón principal de ello es que las soluciones que se proponen para cambiar este enfoque son, al menos, ingenuas. Poco se resuelve diciendo que el docente debe enseñar ciencias con enfoque CTS, que la ciencia debe mostrarse vinculada con aspectos sociológicos o que deben abordar los *temas transversales* de manera compleja. No se resuelve, sobre todo y frente a todo, porque el docente ha sido formado de manera monodisciplinar.

¿Qué significa entonces enseñar un contenido científico de manera interdisciplinar (enseñanza interdisciplinaria refiriéndose al enfoque CTS, o transversal cuando nos referimos a temas que involucran valores)?

La realidad de nuestros sistemas escolares es que la mayoría de las veces hay un único docente en el aula, con escasas posibilidades de organizar un proyecto con otros docentes para dar lugar, al menos, a una enseñanza transdisciplinar, y mucho menos para participar en

la organización de un proyecto de toda la escuela, como requiere la "interdisciplinariedad" o la transversalidad.

¿Entonces, cómo podemos encarar la enseñanza de las ciencias desde una perspectiva que abarque aspectos sociales, históricos, epistemológicos, sociológicos? ¿Debemos hacerlo desde una perspectiva restringida, ya sea biológica o ecológica, o podemos pensar en enseñar ciencias desde una perspectiva compleja? Y si optamos por esta última, ¿cuáles son los límites, es decir, cuáles deberían ser los objetivos de esta educación considerando que somos expertos en una única disciplina?

Nuestra propuesta consiste no tanto en que el docente de biología –por ejemplo– se transforme en un experto en múltiples disciplinas antes de llevar adelante un enfoque complejo de un tema científico, ni tampoco que se reduzca a un enfoque meramente biologicista, sino que pueda ampliar el marco de análisis de los temas para evitar un tratamiento reduccionista de los contenidos científicos.

Planteamos entonces que no se trata de introducir nuevos contenidos sino de ampliar el marco de análisis de los mismos. No estamos proponiendo que un o una docente de ciencias deba ser experto en leyes, antropología, sociología, economía o salud pública; no se trata de hacer *interdisciplina unipersonal* (una mala lectura de interdisciplina podría ser la de un docente abarcando muchas disciplinas) sino enseñar a mirar las múltiples variables que participan en la construcción del conocimiento científico y sus implicancias para la sociedad.

Para los docentes que abordamos contenidos referidos a problemas ambientales y salud este es un problema clave. Un docente de física o de biología puede pasar su vida "esquivando" temas sociales, pero cuando se trata de educación ambiental y salud, por ejemplo, se vuelve –esperamos que así sea– imposible. La enseñanza de las ciencias se vale de los conocimientos de todas las disciplinas relativas al medio natural y al medio social, pero se enfrenta a la necesidad de nuevos enfoques del conocimiento, nuevos valores y nuevos comportamientos. En relación con su tratamiento en la escuela, la solución no proviene de propuestas para generar materias académicas que enseñen nuevos contenidos, sino de proyectos cuyas estrategias educativas tendrán que ser el resultado de una experimentación

colectiva y cooperativa, que provean una forma de entender el mundo y funcionar en él (Meinardi, 2005). En este sentido, se recomienda hablar de "dimensión transversal" en lugar de "temas transversales" para dar cuenta de que los objetivos de la educación ambiental deben integrarse en las demás disciplinas sin constituir un "tema" nuevo (Jiménez Aleixandre y cols., 1995).

TEMAS TRANSVERSALES-INTERDISCIPLINARES

Los temas transversales (TT) se plantean como aquellos contenidos que, desarrollados en un área curricular, sirven de base para vertebrar proyectos colectivos de un centro escolar. Para su desarrollo se requiere de una toma de decisiones compartidas, en las que cada comunidad escolar pueda establecer sus finalidades o prioridades educativas a fin de planificar el conjunto de las actividades docentes. Así, en términos prescriptivos e ideales, los TT son contenidos que han de desarrollarse dentro de las áreas curriculares. La introducción de TT no es otra cosa que una actualización del discurso del conocimiento integrado-globalizado e interdisciplinar: considera que los valores consensuados deben construirse desde la vertebración de sólidos proyectos colectivos. Su eficacia, como es de suponer, dependerá de cómo se logra globalizar el currículo, y de cómo los ejes transversales alimenten el proyecto educativo y la vida de la escuela.

Se consideran temas transversales aquellas cuestiones presentes en todas las áreas del currículo:

- Moral y cívica.
- En pro de la paz.
- En pro de la salud.
- En pro de la igualdad de oportunidades.
- Ambiental.
- Sexual.
- Del consumidor.
- Vial.

Son temáticas que:

- No aparecen asociadas a algunas áreas del currículo sino a todas.
- Abordan problemas de relevancia social.
- Su tratamiento conlleva una importante carga valorativa (predominantemente moral).

Sin embargo, entendemos que las prácticas educativas se llevan adelante en condiciones que, muchas veces, se confrontan con algunas de estas caracterizaciones, debido a que:

- La formación de profesores es monodisciplinar.
- Las escuelas no son ámbitos en que se favorezca el trabajo compartido.
- El currículo está organizado en disciplinas.
- Las condiciones laborales no permiten el encuentro y la discusión o la elaboración de proyectos conjuntos.
- Tal como lo mencionamos, el trabajo interdisciplinario es prácticamente imposible de alcanzar aun en grupos de investigación.

¿Un docente de ciencias naturales debe ser experto en leyes, economía o salud pública?

Reafirmamos que, desde nuestra perspectiva, no se trata de hacer *interdisciplina unipersonal* (un docente que abarque muchas disciplinas) sino enseñar a mirar las múltiples variables implicadas en las situaciones en que el conocimiento científico se ve involucrado.

Retomaremos el debate sobre este tema en otros capítulos e intentaremos aportar experiencias y sugerencias concretas tendientes a la formulación de unidades didácticas acordes con esta perspectiva.

2. ACERCA DE LA FORMACIÓN DOCENTE

por Elsa Meinardi

Toda propuesta de enseñanza implica una concepción particular –implícita o explícita– de cuáles son los propósitos de la educación. Estos propósitos pueden ser muy disímiles; para algunos se trata de formar ciudadanos activos y solidarios para conquistar el bienestar de la sociedad, mientras que otros cuestionan las funciones reproductoras de la educación relacionadas con hacer "gobernable" la sociedad. Siguiendo esta última línea, hay educadores que señalan que ciertas propuestas educativas son la expresión pedagógica por medio de la cual la sociedad industrial pretende adecuar el funcionamiento de la escuela a las exigencias del proceso de industrialización. Esta situación explicaría (entre otras cosas) la orientación global de la tecnología educativa, el currículo y la evaluación hacia un criterio de eficiencia y control (Díaz Barriga, 1995).

La institución escolar ha transitado períodos signados por la concepción de una educación *de castas*, en los que básicamente se intentaba establecer una correspondencia entre la estructura social y la escolar –reproduciendo las diferencias de clase– y formar una élite escolar a partir de una selección social. Luego se podría describir un pasaje por la escuela obligatoria, a lo largo del siglo XIX, caracteri-

zado como un sistema para grandes masas en el cual predomina la concepción según la cual cada sujeto nace en un lugar asignado en la sociedad, fijo e inmutable, con unas determinadas funciones que cumplir, correspondiendo a las clases más bajas las del trabajo; llegamos así al siglo XX en el que el fracaso escolar se explica, muchas veces, por la falta de motivación del alumno "que no quiere o no sabe aprovechar los recursos que el sistema pone a su disposición". Esta nueva estrategia de exclusión tratará de convencer al propio sujeto de su fracaso, por no contar con las características intelectuales requeridas, o por no demostrar las habilidades o competencias previstas; así, se atribuye la responsabilidad del fracaso a quienes la padecen.[1]

MÚLTIPLES FORMAS DE EXCLUSIÓN

El problema del fracaso y la exclusión educativa se expresa de múltiples formas. La exclusión de la escuela, esto es, la no escolarización de jóvenes que tienen estudios medios incompletos, es una de las más contundentes, pero no la única.

> La fragmentación del sistema educativo genera una inclusión de baja calidad o poco significativa para los jóvenes de algunos grupos sociales. Esto nos lleva a concluir que estamos ante un fenómeno de inclusión en el sistema educativo, pero con exclusión de la calidad (Borzese y Bottinelli, 2005).
>
> Incluir implica, además de aumentar la participación, brindar una educación de calidad (Jacinto y Terigi, 2007).
>
> Se habla de un proceso de escolarización marcado por una dinámica de exclusión incluyente; esto es, un proceso mediante el cual los mecanis-

[1] No obstante, hay que manejar las ideas de Bourdieu sobre la *autoexclusión* para comprender mejor estas prácticas. Junto a Passeron investigó la imposición y legitimación de los significados de la clase alta en la escuela, para que fuese asimilada su superioridad y así reproducir y mantener el orden social establecido. En este proceso, los escolares, o se adhieren a la cultura dominante (dotada de *capital cultural* porque es la cultura que utiliza la educación formal), o se excluyen. En este fatídico juego se produce la exclusión, ahora *autoexclusión*, porque el sujeto tiene que reconocer erróneamente, al naturalizarse el conocimiento, la primacía de dicha cultura (Jiménez y cols., 2009).

mos de exclusión educativa se recrean y asumen nuevas fisonomías, en el marco de dinámicas de inclusión o inserción institucional que acaban resultando insuficientes o, en algunos casos, inocuas para revertir los procesos de aislamiento, marginación y negación de derechos que están involucrados en todo proceso de segregación social, dentro y fuera de las instituciones educativas (Gentili, 1998 y 2007; Gentili y Alencar, 2001).

¿Quiénes son los niños excluidos por la escuela? Los que cuentan con historias de repitencia, los migrantes, los que se reinsertan, las adolescentes embarazadas, los que presentan sobreedad, los niños con causas judiciales y en situación de libertad asistida, los pertenecientes a comunidades indígenas, los pobres, los que viven en la calle, los "malos alumnos", los alumnos difíciles, los que "se portan mal"... es decir, la mayoría de los jóvenes y niños que asisten a las escuelas.

Históricamente, a los pobres se les ha negado el derecho a la educación impidiéndoles el acceso a la escuela. Hoy se les niega este derecho al no ofrecerles otra alternativa sino la de permanecer en un sistema educativo que no garantiza ni crea condiciones para el acceso efectivo a una educación de calidad, al limitar las condiciones efectivas de ejercicio de este derecho por la persistencia de las condiciones de exclusión y desigualdad que se han transferido hacia el interior del mismo sistema escolar. Estas condiciones bloquean, obstaculizan y limitan la eficacia democrática del proceso de expansión educativa que condujo a los pobres hacia el interior de una institución que, en el pasado cercano, disponía de un conjunto de barreras que limitaban sus oportunidades de acceso y permanencia (Gentili, 2009). De esta forma, los resultados del proceso de escolarización son tan desiguales como son desiguales las condiciones de vida de las personas. Según Gentili, las condiciones observacionales de este proceso son bien conocidas y estudiadas en América latina, como por ejemplo:

- Diferenciación en el acceso educativo.
- Discriminación pedagógica y logros escolares desiguales en virtud de criterios de género, desigualdades regionales, raciales o étnicas.
- Heredad de las oportunidades educativas.
- Desigualdad en la calidad educativa.

- Injusticia curricular.
- Desigualdad en la distribución de las oportunidades educativas: docentes diferentes, escuelas diferentes, recursos pedagógicos diferentes, competencias diferentes, aprendizajes diferentes, expectativas educativas diferentes; éxitos y fracasos diferentes.

Se señala que las instituciones escolares son fieles a las reglas de desenvolvimiento general de la sociedad, es decir, no son ajenas a la construcción y al refuerzo de los procesos de desigualdad.

Flavia Terigi aporta una interesante mirada sobre la perspectiva de la inclusión cuando menciona que, bajo la expresión "poblaciones en riesgo educativo", suelen englobarse situaciones muy diversas. Se trata de pensar el "riesgo educativo" en términos atributos de la situación pedagógica tal y como está organizada en nuestro sistema escolar. Tomaremos algunos términos de su argumentación que nos resultan especialmente importantes para nuestro enfoque:

> No se trata de niños con sobreedad, como si la sobreedad fuera *per se* un factor de riesgo educativo: se trata de los niños con sobreedad en la escuela graduada, porque la definición del riesgo en que se encuentran está en estricta relación con los límites que enfrenta la escuela para su escolarización. Estos límites no provienen de la edad de los sujetos, sino de las dificultades para forzar el cronosistema que sostiene la gradualidad en los arreglos institucionales y en las formulaciones didácticas.

Tomando otro ejemplo, el de las adolescentes embarazadas o que son madres, Terigi señala que ambas situaciones no comportan en sí mismas ningún impedimento para el aprendizaje; se convierten en factor de riesgo en un sistema escolar donde se las ha considerado históricamente incompatibles con el proyecto de ser estudiante. Ello sucede en parte por razones ideológicas, pero también por condiciones de escolarización muy concretas, entre ellas, la que supone la presencialidad de la alumna para avanzar en los contenidos correspondientes al año escolar. La población en riesgo es, entonces, la de las adolescentes que son madres en escuelas con régimen académico presencial, porque lo que es riesgoso es el límite de la escuela para avanzar en replanteos didácticos cuando el supuesto de presencialidad continua se rompe.

Proponemos pensar el riesgo educativo en que se encuentran los niños, adolescentes y jóvenes más vulnerables socialmente, no en términos de propiedades subjetivas, sino como resultado de interacciones con atributos de la situación pedagógica tal y como está organizada en nuestro sistema escolar. Bajo estas conceptualizaciones, las caracterizaciones de poblaciones en riesgo son siempre transitorias, pues en la medida en que mejora nuestra capacidad de enseñar, lo que "genera riesgo" deja de producirlo; y son operacionales en tanto son relativas a condiciones de escolarización que deberíamos reformular o por lo menos tensionar.

Si tomamos en serio esta argumentación debemos propiciar el desetiquetamiento de grupos enteros de niños y adolescentes como "poblaciones en riesgo"; acentuar las miradas críticas sobre los sistemas de diagnóstico, derivación y recuperación de niños considerados en dificultad; y visibilizar los procesos de etiquetamiento y segregación que tienen lugar en el sistema escolar frente a la diversidad de saberes y desempeños.

> No se trata, entonces, de minimizar los riesgos en que se encuentra la infancia ni de desconocer las dificultades que encuentran maestros y profesores para enseñar en contextos específicos. Se trata de evitar que el conocimiento psicoeducativo funcione como coartada para convertir en problemas de los alumnos lo que en verdad son límites en la capacidad de los dispositivos de escolarización para dar respuesta a la diversidad de condiciones en que se produce la crianza y la escolarización misma de los sujetos. Y se trata también de plantear como asunto central del análisis político-educativo cuáles son las condiciones del proyecto escolar que deben ser tensionadas, e incluso removidas, para avanzar hacia la plena inclusión educativa (Terigi, 2009).

ROMPER EL CÍRCULO DE LA EXCLUSIÓN

La desigualdad de oportunidades en la educación es un factor determinante en el acrecentamiento de la pobreza, el hambre y la mortalidad infantil en todo el mundo.

Según datos recientes de la UNESCO (2008), el fracaso de los gobiernos en la lucha contra las profundas y persistentes desigualdades educativas condena a millones de niños a vivir en la pobreza en el futuro. La

falta de recursos, el aislamiento geográfico, el sexo, el idioma y la etnia son los principales obstáculos en el camino hacia la escolarización. El denominador común es la desigualdad de oportunidades.

El documento sobre el seguimiento de la educación en el mundo –titulado *Superar la desigualdad: por qué es importante la gobernanza*– advierte que una serie de disparidades "inaceptables" tanto a nivel nacional como internacional socavan los esfuerzos a favor del desarrollo. El informe habla del profundo abismo que separa los países pobres de los ricos en lo que respecta a la igualdad de oportunidades en la educación, y advierte que las estadísticas relativas a los niños sin escolarizar solo son un indicador parcial de la magnitud del problema (AA.VV., 2009), ya que no tienen en cuenta los que ingresan en la escuela y desertan prematuramente sin terminar sus estudios; tampoco considera que las evaluaciones del rendimiento escolar de los alumnos que permanecen en la escuela dan pruebas sólidas del fracaso de los sistemas escolares en lograr una educación de buena calidad.

En síntesis, la educación se enfrenta con el problema de que millones de niños no ingresan al sistema, pero aun cuando algunos chicos de los sectores más vulnerables socialmente se encuentran institucionalizados, nada asegura su retención y mucho menos la calidad de sus aprendizajes.

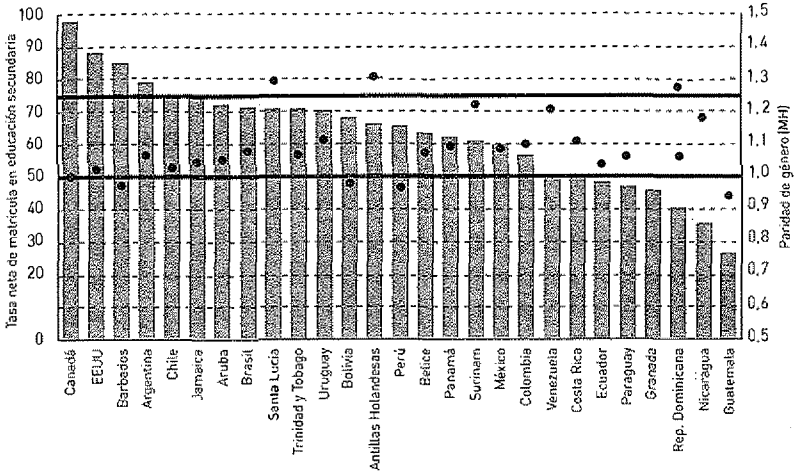
Analizando las tasas netas de escolarización secundaria en América latina y el Caribe, es decir, el número de jóvenes efectivamente escolarizados sobre el total de jóvenes en edad escolar, se ve la siguiente distribución.

Como se desprende del gráfico de la página siguiente, lamentablemente la situación general para América latina y el Caribe es muy poco alentadora, y en algunos países es francamente grave.

En la Argentina –para citar el ejemplo propio– viven aproximadamente 11 millones de jóvenes, de los cuales el 40% se halla en situación de pobreza, más del 40% está en situación de exclusión o vulnerabilidad educativa, y el 20% se caracteriza como excluido del sistema educativo. La ciudad de Buenos Aires no es ajena a esta situación: casi el 30% de los jóvenes se hallan en situación de vulnerabilidad educativa y poco menos del 10% en exclusión educativa (INDEC, 2001; Fundación SES, 2007).

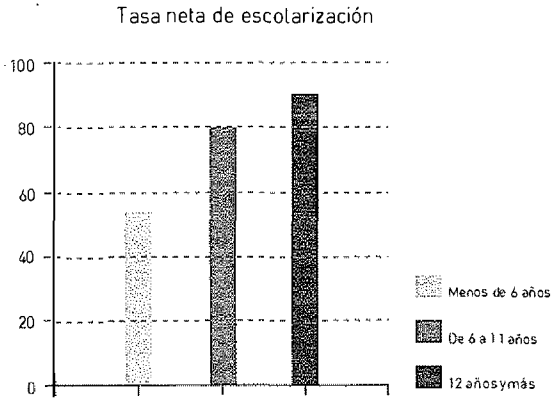
Tabla 1. Alcanzando las metas educativas. Fuente: UNESCO, 2003

Tasa neta de matrícula en educación secundaria y paridad de género
(año académico iniciado en el año 2000)



Se ha visto –y esto puede hacerse extensivo a toda la región– que los años de escolarización están estrechamente ligados al clima educativo del hogar.

Tabla 2. Tasa neta de escolarización por clima educativo del hogar. Datos para la Argentina, 2003. Fuente: SITEAL, 2008



En aquellas familias cuyos miembros no han completado los estudios de nivel primario, menos del 50% de los niños se encuentran escolarizados. Cuando la escolarización familiar alcanza la finalización de estudios de nivel primario y hasta algunos años de escuela media, el valor asciende a 80%, mientras que en las familias con algún año de estudios terciarios, el 90% de los jóvenes está escolarizado.

Estas cifras nos muestran la necesidad de retener con calidad a los estudiantes ya que, cuando la escuela se torna expulsiva, está excluyendo preferentemente a los niños de las familias más desfavorecidas.

> Las demandas para la política pública en el sector educativo en la región abarcan la necesidad de mejorar la calidad para lograr que los que están en el sistema permanezcan y alcancen a egresar con resultados significativos y pertinentes; atender específicamente a la población que está en situación de riesgo y buscar estrategias innovadoras, sin excluir la complejidad inherente a los desafíos de calidad y equidad (Duro, 2005).

Sumado a las dificultades de acceso a la escolarización mencionadas, resulta cada vez más evidente que la propia escuela puede transformarse en una institución expulsiva, sin capacidad de retención de los jóvenes de los sectores más desfavorecidos, de aquellos más vulnerables socialmente. En muchos casos puede deberse a que los docentes no poseen herramientas adecuadas para la educación en tales contextos ya que muy pocas veces la formación profesional los prepara para ello. Sucede así que los profesores dejan rápidamente estas instituciones –también es alto el ausentismo y la rotación docente (Jacinto y Terigi, 2007)– y se producen situaciones que muchas veces los jóvenes viven como abandono, y que parecen repetir aquellas que sufren en su entorno familiar y social (Meinardi, 2007). En numerosísimas oportunidades los docentes dicen con preocupación o resignación: "No hemos sido preparados ni formados para trabajar con estos jóvenes o en estos ambientes" (Croce, 2005).

El modelo pedagógico vigente en las escuelas medias es incapaz de modificar los actuales problemas de inclusión educativa. Las modalidades de trabajo más extendidas en las escuelas no parecen aptas

para atenuar los problemas de fracaso escolar (Feldman, 2005). Las escuelas que trabajan en contextos de pobreza, con alumnos (niños, adolescentes, jóvenes y/o adultos) con escasas oportunidades sociales, deben enfrentar una serie de problemáticas (socioeconómicas, pedagógicas, institucionales) para desarrollar una enseñanza de calidad. Una de sus consecuencias *–aún sin resolver en la Argentina y en los países de la región–* es la cristalización de trayectorias educativas signadas por la discontinuidad, escasos aprendizajes y, en casos más graves, abandono educativo. Esta situación socioeducativa profundiza y amplía las brechas de desigualdad social (Krichesky, 2006).

Cuando se interroga a los jóvenes de la región (América latina y el Caribe; datos de la CEPAL, 2002) respecto de los motivos de la deserción escolar, mencionan principalmente los económicos, por ejemplo búsqueda de empleo y carencias, y los familiares como embarazo, maternidad o responsabilidad en los quehaceres del hogar (que evidentemente afectan de manera preferencial a las mujeres). Al mismo tiempo, entre un 10 y 25% de los jóvenes señalan la falta de interés y el mal desempeño escolar. Y son justamente sobre estos últimos factores donde una formación docente de calidad puede incidir de manera decisiva para acrecentar la retención y revertir las cifras de exclusión educativa. Todo esto, sin abandonar el objetivo de producir aprendizajes de calidad.

TRANSFORMAR LOS PROCESOS DE FORMACIÓN DOCENTE

Los países desarrollados, con el 23% de la población humana, lideran los sistemas de mercado, controlan la generación, transferencia y comercialización de la tecnología, y fomentan la innovación y la alfabetización científica. El 1% de los científicos del mundo son latinoamericanos. Japón, país industrializado, cuenta con alrededor de 4 a 5 mil científicos e ingenieros por millón de habitantes, y Estados Unidos con unos 3 mil. América latina tiene un promedio de 210.

Dada esta situación, ¿qué papel puede desempeñar la caracterización de nuevos modelos de formación inicial y continuada de profesores de ciencia en tal transformación global y particular de

una educación científica de calidad y con equidad en América latina? Es necesario que nuestras instituciones formadoras de profesores de ciencia conserven toda su riqueza histórica y experiencia acumulada en los últimos años pero, al mismo tiempo, inicien en nuestros países un interesante y complejo proceso de transformaciones en los modelos de formación inicial y continua de profesores de ciencias (Quintanilla, 2006).

Trabajos recientes alertan acerca del bajo impacto que tiene la formación sobre la práctica docente. Esto muestra la necesidad de que las instituciones formadoras generen un proceso de transformación de las concepciones, acerca de la educación y de las prácticas, de los futuros profesores; si esta formación no produce una ruptura con su propia biografía escolar, el desarrollo profesional se va a sustentar en los intentos por reproducir esa trayectoria de manera rígida y, por lo tanto, descontextualizada y poco productiva.

Se tratará entonces de un ritual que, más que responder a los contextos educativos, intentará copiar aquellas formas que recordamos, aquella situación "ideal" pero ficticia, que no reconoce a los siempre nuevos jóvenes (¿acaso no son siempre nuevos?) sus valores, necesidades, formas de intervenir o de comunicar. No podrá ver, o naturalizará, las formas de violencia simbólica que se ejercen en ambos sentidos, de manera que su acción quedará en una mera formalidad, vacía de educación.

La educadora argentina Andrea Alliaud afirma que la docencia se caracteriza por ser una profesión que se desarrolla en un lugar conocido de antemano, vivido y experimentado por los sujetos durante muchos años en etapas decisivas de la vida; a diferencia de otras profesiones, en las cuales uno tuvo quizás encuentros más ocasionales. Durante el recorrido escolar, los docentes en general han interiorizado "modelos de enseñanza" que sus profesores han llevado a cabo con ellos; han adquirido "saberes y reglas de acción", "pautas de comportamiento". A partir de esos modelos, saberes, reglas y pautas, han ido construyendo esquemas sobre la vida escolar, se han formado creencias firmes y perdurables sobre la docencia y el trabajo docente, imágenes, teorías, creencias, supuestos, valores. Puede decirse que los docentes, en tanto alumnos, aprendieron muchas cosas; entre ellas a ser docentes, a ser alumnos, a manejarse en una institución

determinada como es la escolar, aprendieron a relacionarse con los conocimientos, etc. Podría decirse que los docentes, incluso los noveles, son personas formadas, experimentadas, escolarizadas. Son docentes "formateados" justamente por toda esta experiencia escolar previa, aunque desde la acreditación formal se los considere "inexpertos" (Alliaud, 1993). La biografía escolar produce saberes fuertes, resistentes al cambio porque fueron recibidos sin mediaciones críticas y aprendidos vivencialmente (Davini, 1995).

FORMACIÓN DOCENTE CENTRADA EN LOS CONTEXTOS DE DESEMPEÑO

La inequidad social se plantea como la barrera principal para el acceso a la escolarización. Pero, ¿qué ocurre cuando la propia escuela se transforma en expulsiva, sin capacidad de retención de los jóvenes de los sectores más desfavorecidos, de aquellos más vulnerables socialmente? Al mismo tiempo, ¿contamos los docentes con las herramientas adecuadas para educar en las escuelas a las que concurren dichos jóvenes?

Frente a la realidad de las aulas, con jóvenes expuestos a situaciones de vulnerabilidad extrema, jóvenes en situación de libertad asistida, madres y padres adolescentes, que viven en condiciones de gran precariedad, sin servicios públicos, con gran inseguridad, rodeados de violencia y violentamente, en medio de conductas destructivas, con la discriminación en el tratamiento personal y de sus espacios, en aislamiento, en soledad, en la invisibilidad de la sociedad, nos preguntamos cómo favorecer una formación inicial y un desarrollo profesional docente que promueva una educación científica de calidad.

Las nuevas y crecientes demandas de los ámbitos educativos vuelven más complejas las necesidades de formación de los docentes. Configurando esas demandas se encuentra la necesidad de educar a un alumno cada vez más heterogéneo socioculturalmente y desconfiado respecto del valor y legitimidad de lo que la escuela y sus maestros quieren enseñarle (Vezub, 2004). Estos escenarios, cada vez más frecuentes, ponen a los docentes frente a una realidad que

desafía su propia formación, concebida para educar a un inexistente "alumno tipo" en una situación didáctica ideal. No es raro entonces que las mejores intenciones educativas se puedan ver truncadas por las sucesivas frustraciones en la práctica cotidiana. Así, se vuelve imperiosa la necesidad de desarrollar acciones de formación docente inicial que partan de un profundo conocimiento de los contextos de desempeño profesional y, al mismo tiempo, un desarrollo profesional docente continuo estrechamente ligado a la escuela y orientado a integrar las perspectivas teóricas y prácticas en dicho proceso.

En las décadas de 1980 y 1990, la atención de la investigación didáctica en relación con la formación del profesorado se centró primero en el *conocimiento del profesorado* y, poco después, en lo que *deben saber y saber hacer los profesores*, es decir, en determinar los componentes del conocimiento base que debe tener un profesor para la enseñanza de su disciplina. Shulman (1987) propone que toda actividad educativa se sostiene en un conjunto de creencias y teorías implícitas que forman parte del pensamiento del profesor y que orientan sus prácticas. Para dar cuenta de dicho pensamiento plantea un *modelo didáctico de razonamiento* que implica procesos de razonamiento del profesor sobre el contenido para la enseñanza enriquecidos por el contexto en que sucede, como resultado de las interacciones sociales que el acto educativo implica y los distintos momentos que caracterizan la práctica docente (Acevedo Díaz, 2009).

Según Shulman (1987) el conocimiento base para la enseñanza de un profesor debe incluir al menos siete categorías de conocimiento diferentes: 1) del contenido, 2) didáctico general, 3) curricular, 4) didáctico del contenido, 5) de los contextos educativos, 6) de las finalidades y los valores y 7) de los objetivos educativos. Posteriormente estos siete tipos de conocimiento fueron redefinidos en cuatro grupos más generales:

1. conocimiento del contenido, que incluye también el de su estructura sintáctica y semántica;
2. conocimiento didáctico general, que se tiene sobre los alumnos y el aprendizaje, la gestión de clase y el currículo y la enseñanza;
3. conocimiento didáctico del contenido (CDC), que comprende las concepciones del profesor sobre la finalidad de enseñar una materia, las dificultades de su comprensión por los alum-

nos, el currículo sobre tal disciplina, y las estrategias de su enseñanza;

4. conocimiento del contexto: dónde (la comunidad, el barrio, la escuela) y a quién se enseña.

De este conjunto se destaca el concepto de conocimiento didáctico del contenido, el cual implica un conjunto de saberes que permite al profesor trasladar a la enseñanza el contenido de un determinado tópico; esto es, hacer la transposición didáctica desde el contenido científico hasta el contenido a ser enseñado (Chevallard, 1997. Los componentes del CDC también implican conocimiento del currículo y del contexto de aprendizaje,[2] además de conocimiento sobre los estudiantes y las estrategias didácticas; de allí que esté estrechamente ligado a la práctica docente y a la reflexión sobre dichas prácticas. La práctica reflexiva lleva a reconocer el carácter arbitrario del modelo que se presenta como natural; en tanto no se visualice como producción social, no podrá cuestionarse, explicarse ni modificarse (Alliaud, 1993). Al mismo tiempo, esta práctica reflexiva debe sustentarse en el conocimiento profundo de los contextos en los cuales opera. Como menciona Pennac (2008), la reflexión tiene que darse necesariamente en la acción misma de enseñar, y no por fuera, como una ciencia abstracta.

Tanto la formación inicial como el desarrollo profesional docente deben ser vistos como procesos continuos sustentados en las necesidades prácticas, que implican la participación y la reflexión sobre el desempeño, y que constituyen fenómenos de construcción mediante los cuales los docentes desarrollan estrategias cognitivas que les permiten valorar su trabajo profesional (Sánchez, 2001). La formación que se brinda al docente debe centrarse en el contexto de su desem-

[2] A pesar de tener en cuenta el contexto, el concepto de CDC ha sido criticado por considerarse que está demasiado centrado en los aspectos más académicos de la enseñanza y de haber olvidado otros que tienen gran importancia actualmente para la formación del profesorado de educación secundaria, tales como la capacidad de establecer relaciones transversales más allá de la propia disciplina, el trabajo colegiado, la consideración de las dimensiones ideológica y social de las prácticas docentes, etc., así como otros más propios del aprendizaje, como la dimensión afectiva, los aspectos motivacionales, etc. (Acevedo Díaz, 2009).

peño; supone acciones pensadas para apoyar a los docentes y para acortar la distancia entre las propuestas curriculares y la realidad de las aulas (Perrenoud, 2004). Se trata de producir una valorización de la escuela como ámbito donde se aprende: de allí que, desde esta perspectiva, se ha generado un énfasis en las investigaciones sobre el estudio local y en contexto con respecto a la experiencia vivida. La experiencia se convierte, así, en fuente de apropiación de saberes.

Este es un punto central del desarrollo profesional docente si se espera mejorar la retención y la calidad de los aprendizajes científicos en las escuelas.

En el trabajo que proponemos, y que desde diferentes proyectos venimos abordando, intentamos hallar orientaciones respecto de qué debe tener en cuenta una integración cabal de formadores para que los futuros profesores puedan luego colaborar con la retención escolar y el desarrollo integral de estos alumnos. Compartimos la idea de que la medida verdadera del éxito de un programa de desarrollo profesional de los profesores es el aumento significativo en el aprendizaje de los estudiantes (Abu Sharbain, 2002).

QUÉ PUEDE ESPERARSE DE LA FORMACIÓN DOCENTE INICIAL

La formación docente inicial debe potenciar no solo aquellos elementos más estrechamente ligados al desarrollo profesional, sino también a la escuela y a los estudiantes. Es deseable que tal formación sea concebida como un proceso continuo, flexible y contextualizado, que se apoye en la permanente reflexión, estimulando lo axiológico y considerando los juicios críticos sobre los aspectos sociales, éticos y políticos (Valeiras y Meinardi, 2007).

La mayor parte de los estudiantes que finalizan la educación secundaria en América latina carece de formación científica adecuada. Este hecho nos lleva a reflexionar sobre lo que ocurre en las aulas de ciencia en los sistemas educativos de los países que fueron evaluados, y muestra la necesidad de realizar cambios profundos en la enseñanza de las ciencias en todos los países de la región. Los cambios podrán

darse en la medida en que en la región se desarrolle la necesaria investigación sobre educación científica y sus resultados se utilicen como base para los cambios y las innovaciones (Macedo, 2002).

Sin embargo, y como señala Macedo, en casi todos los países latinoamericanos existen formación inicial de profesores y también propuestas de formación en servicio y, en muchos países, producción de conocimientos a partir de la investigación en didáctica pero, en muy pocos, estos tres aspectos del mismo problema cierran el triángulo. Es más: en muchos casos, estos aspectos son desarrollados por distintas instituciones dentro del mismo país; por ejemplo, quienes investigan no tienen incidencia en la formación de los profesores o la institución que tiene la responsabilidad de la formación inicial de los profesores no se ocupa de la formación en servicio.

Un programa de formación docente integrado con la investigación didáctica demanda un conjunto de acciones compartidas por los docentes en formación y en servicio, y los investigadores en didáctica y formadores de formadores, orientados a:

- Conocer el estado de situación del conocimiento disciplinar y metadisciplinar de los docentes que intervienen en el programa, y también sus representaciones sociales en relación con las finalidades de la educación científica.
- Promover, en los docentes participantes, cambios sobre cómo enseñar ciencias, a través de las transformaciones de las concepciones sociales (para qué enseñar ciencias), epistemológicas (qué ciencia enseñar) y psicopedagógicas (cómo enseñar).
- Contribuir a la toma de conciencia del profesorado sobre el desempeño de sus funciones como orientadores de los procesos que ocurren en el aula, así como de las estrategias a utilizar capaces de vencer las dificultades de los estudiantes, tanto sociales como disciplinares.
- Generar espacios de discusión democrática con los docentes sobre la necesidad de articular las actividades que se planifican para el aula con los propósitos de la educación y, con un estilo comunicacional dialógico interactivo, formular intervenciones positivas que den apoyo a las intervenciones docentes para nuevos sujetos del aprendizaje, articulando la teoría didáctica y la

práctica docente en la producción de propuestas didácticas contextualizadas para un aula real, así como también al desarrollo curricular de las orientaciones de ciencia que cada institución escolar requiera.

Un proyecto con estas características deberá estar apoyado por una investigación didáctica que pueda, entre otros objetivos, dar cuenta del estado de situación de las representaciones (tanto conceptuales y disciplinares como sociales) de los estudiantes, que actúan como obstáculos para el aprendizaje de conceptos y asimismo para producir cambios tendientes a generar conductas saludables; hacer explícitas las buenas prácticas implícitas de los docentes en servicio y relevar el impacto de las intervenciones que se formulen.

Al articular la investigación educativa con lo que ocurre en las aulas, las experiencias permiten generar conocimiento teórico que puede orientar el desarrollo de nuevas experiencias y retroalimentar los propios procesos de formación docente. Así, es esperable que dicha investigación produzca un impacto en varios niveles, de los cuales mencionamos algunos:

Respecto del desarrollo profesional docente:

- Formación docente en contexto, en la que se articule la investigación didáctica, la realización de observaciones reflexivas de clases y la planificación de prácticas innovadoras de enseñanza, atendiendo a contextos y necesidades reales de los estudiantes en las escuelas.
- Fortalecimiento de las habilidades comunicativas, docentes, solidarias y afectivas del futuro profesor.
- Interacción dialógica con colegas de más experiencia, y fomento de estrategias de formación colaborativa.
- Incorporación de nuevas variables de las prácticas educativas y desarrollo de una actitud reflexiva sobre ellas.
- Toma de conciencia de la importancia del rol del docente como agente de cambio social.
- Inicio en estrategias de investigación y de innovación educativa en los docentes en formación y en servicio.

Respecto de las escuelas:

- Fortalecimiento de vínculos de trabajo permanente entre la escuela y la formación docente.
- Apoyo a la tarea del docente en servicio por medio del trabajo en parejas pedagógicas.
- Posicionamiento de la escuela como ámbito que contribuye a la formación real de los docentes, ya que permite el conocimiento del contexto social, cultural e institucional en el cual se deberá desplegar el accionar docente, y para el cual la formación deberá estar dirigida.
- Reconocimiento de la escuela como espacio de construcción de saber didáctico.

Respecto de los estudiantes de nivel medio:

- Incremento del apoyo emocional, social e intelectual de los jóvenes, y la construcción de mejores aprendizajes.

El desarrollo profesional implica un perfeccionamiento en equipo, colegiado, colaborativo, cooperativo porque, al menos en los niveles obligatorios de la enseñanza, los proyectos curriculares deben perseguir la formación integral de los alumnos, su educación como seres humanos, más allá de las disciplinas y especialidades, siendo imprescindibles el diálogo y la comunicación entre profesionales que tienen en común un mismo objetivo; porque esta tarea, que reconoce la capacidad de decisión profesional frente a la de mero ejecutor de prescripciones que otros (currículo oficial, libros de texto, etc.) elaboran, no puede abordarse individualmente, ya que al profesor no se le puede exigir en nombre de la autonomía que sea un experto en fundamentación teórica, un especialista en el área o etapa que imparte y un investigador de los procesos de implementación curricular; puesto que, de no trabajar en equipo, como advierte Santos Guerra (1994), las estructuras escolares permanecen intactas, no se transforman, no se dinamizan; y finalmente, debido a que la definición del desarrollo del maestro como actividad que cada uno ha de llevar a cabo de forma individual, limita en gran medida las posibilidades de ese desarrollo,

al no contemplar la reflexión en cuanto práctica social en la que los grupos de maestros pueden apoyar y sostener el desarrollo profesional de cada participante (Zeichner,1993). La formación inicial y el desarrollo profesional docentes deben entenderse como procesos sociales que ocurren en el interior de "comunidades de prácticas".[3]

La cultura científica es imprescindible como elemento clave de la cultura general de los ciudadanos, tanto en el aspecto personal -en cuanto instrumento de inclusión social- como en el desarrollo de los países. Atendiendo a ello, confiamos en una formación del profesorado en ciencias que apunte a una revalorización de las funciones de la escuela, que se dé en los docentes y en los propios educandos, reconociendo el papel central que desempeña en la adquisición de dicha cultura. El objetivo de esta formación deberá centrarse en la producción y puesta en el aula de estrategias innovadoras de enseñanza de las ciencias, cuyo fin es mejorar los aprendizajes de los estudiantes de manera de incidir sobre la valoración de sus propios saberes, haciéndolos operativos. Se trata de lograr, mediante la formación del profesorado, la educación de los jóvenes para hacerlos reflexivos, críticos, autónomos, conocedores de sus derechos y capaces de demandar por los deberes de la sociedad. Se requiere de un profesorado también reflexivo, crítico y autónomo; profesionales que puedan revisar su práctica y producir cambios. Una forma de apoyar estos procesos es constituir grupos de trabajo colaborativo en los cuales la articulación de la investigación didáctica con la formación inicial de los profesores y con la formación continua de los docentes en servicio transforme los problemas del aula en problemas de investigación.

En conclusión: el acompañamiento afectivo y cognitivo de los jóvenes en su difícil recorrido por una escolaridad en que, muchas veces son los únicos protagonistas del núcleo familiar que la han atravesado, parece ser una estrategia probable para mejorar su rendimiento escolar y disminuir el abandono. Por otro lado, a partir de estas experiencias se modifican las prácticas docentes y de investigación en relación con la formación, poniendo el foco en las problemáticas de la comunidad.

[3] Mencionamos las características de las comunidades de prácticas definidas por Wenger (2001) en la "Presentación" del libro.

3. ¿QUÉ CIENCIA ENSEÑAR?

por Leonardo González Galli*

Desde 1973 el geólogo Walter Álvarez y sus colegas de Berkeley (Estados Unidos) pasaban sus veranos en Gubbio, en la región de los Apeninos, del centro de Italia. Interesado en la historia de nuestro planeta, el equipo de Álvarez estudiaba las extraordinarias formaciones de rocas calizas que allí se encuentran. Más concretamente, buscaban en las rocas evidencias de un fenómeno conocido como "inversión del campo magnético terrestre". El planeta tiene un campo magnético a su alrededor y, de vez en cuando, el polo norte magnético (que no coincide exactamente con el geográfico) se convierte de un modo repentino en el polo sur. Hoy sabemos que en los últimos diez millones de años esta inversión sucedió casi trescientas veces. Este fenómeno deja una "huella" en las rocas y eso es lo que buscaba Álvarez para descifrar el origen de los Apeninos. Estas eran sus preocupaciones,

* Licenciado en Ciencias Biológicas y profesor de enseñanza media y superior en Biología (UBA). Es docente en el profesorado de Biología de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales -FCEyN- (UBA). Su área de interés es la didáctica de la teoría evolutiva, tema de su tesis doctoral.

estos eran sus intereses. Para saber qué antigüedad tiene un estrato geológico pueden utilizarse "fósiles marcadores" de antigüedad conocida. Así, este y otros equipos de investigadores se abocaron a datar las inversiones magnéticas de la tierra relacionándolas con los fósiles encontrados en distintos estratos (Álvarez, 2009: 50).

Las repetidas visitas a Gubbio permitieron a Álvarez y sus colaboradores familiarizarse con el llamado "límite K-T", el estrato límite entre el cretácico y el terciario. Las rocas calizas estudiadas por Álvarez eran ricas en foraminíferos[1] fósiles, pero estos fósiles desaparecían abruptamente en el límite K-T y, por encima de este límite, se encontraban en menor cantidad y de tipos diferentes. Esta desaparición de los foraminíferos cretácicos era en realidad parte de la última de las cinco grandes extinciones masivas, la extinción de cretácico ocurrida hace sesenta y cinco millones de años y famosa por implicar la desaparición de los dinosaurios. Así, nuestros investigadores comenzaron a preguntarse qué podría haber causado la desaparición de los foraminíferos y por qué dicha desaparición parecía tan abrupta. Una observación había llamado la atención de los geólogos: entre los estratos correspondientes al cretácico y los correspondientes al terciario se encontraba una fina capa de arcilla. Los fósiles estaban ausentes de la capa de arcilla y eran muy escasos en los estratos superiores (más recientes). ¿Qué representaba esa capa de arcilla? ¿Tenía alguna relación con la extinción el cretácico? El aparente carácter abrupto de la extinción también intrigó a Álvarez, ya que contradecía la visión ampliamente aceptada según la cual la extinción del cretácico había sido gradual. Álvarez se preguntó entonces cuánto tiempo representaba la misteriosa capa de arcilla o, lo que es lo mismo, cuánto tiempo había tardado en depositarse. ¿Representaba unos años o unos miles de años?

De regreso en Berkeley, Walter Álvarez compartió el enigma con su padre, el físico Luis W. Álvarez. Este último quedó particularmente intrigado por la misteriosa capa de arcilla y concibió entonces un modo para estimar el tiempo de acumulación. Se sabía que el "polvo cósmico", pequeñas partículas procedentes de la desintegración

[1] Los foraminíferos son protozoos (animales unicelulares) marinos poseedores de un caparazón generalmente calcáreo que suele dejar un buen registro fósil.

de meteoritos, llega a la Tierra desde el espacio a una velocidad constante. Así, era posible estimar cuántos años había tardado en depositarse la capa de arcilla calculando la cantidad de polvo cósmico hallada en ella. Con esta idea, los Álvarez dirigieron los análisis de la arcilla a identificar la presencia de ciertos elementos químicos que, como el iridio, son escasos en la corteza terrestre pero algo más abundante en el polvo cósmico. Si la arcilla había tardado mucho tiempo en depositarse, contendría niveles de iridio superiores a los normales, ya que mucho polvo cósmico se habría depositado en ella durante un largo período. Para estos análisis recurrieron a dos químicos nucleares, Franz Asaro y Helen Michel.

Para sorpresa de los investigadores, los análisis en cuestión revelaron niveles inesperadamente altos de iridio. Esto era una mala noticia ya que dichos niveles eran tan elevados que no podían atribuirse a la deposición de polvo cósmico, por lo que el método no serviría para estimar el período representado por la capa de arcilla. Analizaron nuevas muestras de rocas y el resultado fue contundente: los niveles de iridio eran unas noventa veces superiores en la capa de arcilla que en las capas inmediatamente por debajo y por encima. ¿A qué se debía este alto nivel de iridio que no podía atribuirse a la deposición de polvo cósmico? ¿Tendría alguna relación la misteriosa causa de este fenómeno con la extinción del cretácico?

Inicialmente los Álvarez creyeron que la explosión de una supernova[2] podría explicar la abundancia de iridio pero luego consideraron más variables, realizaron nuevos análisis y desecharon la hipótesis. Entre tanto, nuevas muestras del mismo estrato de otras localidades geográficas (Estados Unidos, Dinamarca y Nueva Zelanda entre otras) mostraron niveles de iridio semejantes. Alguna causa extraterrestre había "sembrado" iridio en todo el mundo hace unos sesenta y cinco millones de años, pero ¿cuál era esa causa? Finalmente, los Álvarez concibieron la hipótesis de que el impacto de un asteroide era el responsable más probable de esta anomalía. La idea era que el propio asteroide se habría pulverizado al chocar con la Tierra, esparciendo

[2] Se llama "supernova" a la explosión, con una enorme liberación de energía, de ciertas estrellas.

por la atmósfera grandes cantidades de polvo rico en iridio que se habría depositado en todo el planeta. La presentación en sociedad de esta hipótesis desencadenó polémicas que aún perduran. Por aventurada que pareciera, esta hipótesis recibió diversas evidencias favorables, además de la de los altos niveles de iridio. La más notable llegó a comienzos de la década de 1990 cuando se descubrió un gran cráter cerca de la ciudad de Chicxulub, en la región del Yucatán (México). La antigüedad y el tamaño del cráter eran exactamente lo que la hipótesis de Álvarez necesitaba.

La mayor parte de los paleontólogos era entonces partidaria de una visión "gradualista" de la extinción de los dinosaurios. Las especies desaparecían gradualmente en el estrato fósil, o eso parecía. Esta interpretación del registro fósil era perfectamente compatible con la visión gradualista de la evolución típica de la "teoría sintética de la evolución". Sin embargo, las abrumadoras evidencias a favor del impacto extraterrestre llevaron a los paleontólogos a dudar de esta interpretación del registro fósil. ¿Eran realmente fuertes las evidencias de que la extinción había sido gradual? ¿Serían adecuados los métodos de análisis de los fósiles? La aceptación casi total de la hipótesis del asteroide llevó a dudar de la antigua interpretación del registro fósil y a diseñar nuevos métodos para analizar la extinción a partir de los fósiles. Las nuevas investigaciones llevaron a muchos paleontólogos a concluir que la extinción había sido abrupta y que la apariencia de gradualidad había sido consecuencia de inadecuados métodos de análisis.

Aún se discute el carácter gradual o abrupto de la extinción del cretácico y el papel que el impacto del asteroide cumplió en dicho fenómeno. De cualquier modo, casi todos los especialistas acuerdan en que este impacto extraterrestre constituyó, sin dudas, una causa principal (aunque probablemente no la única) de la extinción cretácica (Futuyma, 2005: 149).

¿QUÉ ES LA EPISTEMOLOGÍA?

En este capítulo abordaremos algunas cuestiones epistemológicas, por lo que será bueno comenzar explicitando brevemente qué

entendemos por *epistemología*. Según la perspectiva aquí adoptada, "epistemología" es *el estudio de las condiciones de producción y validación del conocimiento científico* (Klimovsky, 1994: 28). La reflexión epistemológica es lo que se conoce como una reflexión de segundo orden. Por ejemplo, la teoría mendeliana de la herencia enunciada en los libros de biología se refiere (o al menos esa es la pretensión) a ciertos aspectos del mundo relacionados con la herencia de los rasgos biológicos. En este sentido, diremos que se trata de una reflexión *de primer orden*. Luego, un epistemólogo puede teorizar *sobre* la teoría mendeliana. Por ejemplo, podría analizar la cuestión de si dicha teoría incluye enunciados que puedan ser llamados con propiedad "leyes". Esta reflexión *sobre* la teoría mendeliana sería *de segundo orden*. A esto mismo se refiere también la noción de "disciplina metacientífica" (Diez y Moulines, 1999: 17) o metaciencia. Hay otras disciplinas metacientíficas además de la epistemología. Por ejemplo, la *sociología de la ciencia* que se ocupa de cuestiones tales como la influencia de la extracción social del científico sobre los resultados de su investigación y la *ética de la ciencia* que se pregunta, por ejemplo, si es correcto que un científico colabore en el desarrollo de armas de destrucción masiva (Estany, 1993: 26). Lo que proponemos entonces en este capítulo son algunas reflexiones epistemológicas, esto es, algunas reflexiones *sobre* los modos de producción y validación del conocimiento científico. Pondremos el foco del análisis en las llamadas "ciencias fácticas", lo que excluye a las "ciencias formales" como las matemáticas (Klimovsky, 1994: 24-25). Más en particular, nos referiremos a las "ciencias naturales" aunque, por ser muy generales, nuestras reflexiones también podrán considerarse válidas para las "ciencias sociales".

Importancia de la reflexión epistemológica

El lector interesado, por ejemplo en la química como disciplina, podría preguntarse: ¿por qué debería estudiar epistemología si lo que me interesa es la química?, ¿no bastará con leer libros de química? Para responder a esta inquietud debemos señalar que conocer una disciplina científica no implica solo saber enunciar, e incluso comprender, sus teorías y modelos, sino también conocer

los modos de producción y validación de dichas teorías y modelos. Estas cuestiones son objeto de estudio de la epistemología, por lo que esta observación basta para justificar el interés en esta disciplina metacientífica. Además, para aquellos lectores involucrados en la actividad educativa diremos que la importancia de la epistemología para la educación científica es ampliamente reconocida desde hace muchos años (Astolfi, 2001; Izquierdo Aymerich, 2000; Jiménez Aleixandre, 2003; Joshua y Dupin, 2005; Matthews, 1994; Sanmartí, 2002, entre otros). Así, al motivo expuesto para justificar el estudio de la epistemología, podemos agregar otros dos. El primero radica en que cuando enseñamos, pongamos por caso física, no solo enseñamos conceptos y teorías científicos como inercia, masa y aceleración, sino también una cierta imagen *sobre* la ciencia, por ejemplo, la idea de que la ciencia se basa en la observación y es objetiva (Sanmartí, 2002: 49). Estas ideas que los enseñantes tenemos, y enseñamos, sobre la naturaleza de las ciencias no siempre son explícitas y rara vez son hijas de una reflexión consciente sobre el tema. Por el contrario, suelen ser parte de una visión de la ciencia ampliamente difundida en la población general. Como cabría esperar, estas ideas son algo estereotipadas y, en muchas ocasiones, están fuertemente cuestionadas por las actuales disciplinas metacientíficas. Así, necesitamos reflexionar sobre las cuestiones epistemológicas para no reproducir ciertas ideas espontáneas sobre las ciencias que han sido desacreditadas por las metaciencias y que tienen implicancias profundamente negativas para la enseñanza (Meinardi y Adúriz-Bravo, 2002). Por ejemplo, si transmitimos la idea de que los científicos son personas extraordinarias, "genios" superdotados intelectualmente, alejaremos a muchos de nuestros estudiantes de la ciencia ya que quienes no se consideren geniales pensarán: "Esto de la ciencia no es para mí". Del mismo modo, si los estudiantes forman su imagen de la actividad científica a partir de prácticas de laboratorio que consisten en seguir ciertos protocolos experimentales, sin saber los objetivos ni la justificación de lo que se hace, difícilmente vayan a considerar la ciencia como una actividad intelectualmente estimulante. Esta imagen distorsionada de la ciencia puede explicar, al menos parcialmente, el rechazo de muchos estudiantes por las disciplinas científicas (Fernández y cols., 2005: 30).

Por último, las ideas que los docentes tenemos *sobre* las ciencias no solo influyen en *qué* enseñamos sino también en *cómo* enseñamos. Por ejemplo, si creemos que la ciencia consiste en una colección de explicaciones verdaderas y definitivas de los fenómenos, difícilmente favoreceremos que nuestros estudiantes consideren, comparen e integren diferentes puntos de vista sobre un mismo fenómeno (Fourez, 2008: 13).

Hecha esta invitación al estudio de las metaciencias en general, nos centraremos en dos cuestiones que constituyen una parte central de la visión de la naturaleza de las ciencias de sentido común que estudiantes y docentes solemos compartir. Estas cuestiones son: el problema del método científico y el de la observación. Más precisamente, nos proponemos cuestionar dos ideas sobre estos temas: la idea según la cual el fundamento último de la ciencia es la observación objetiva y desprejuiciada del mundo y la idea según la cual existe un método científico, único y universal, cuya ejecución garantiza la producción de conocimiento científico. Finalmente, cerraremos el capítulo con un apartado sobre filosofía de la biología que busca llamar la atención sobre la necesidad de atender a las particularidades epistemológicas propias de cada ciencia.

LA IMAGEN POPULAR SOBRE LA CIENCIA

La idea de que existe un único método científico ha tenido su lugar en la historia de la epistemología. Esta idea era, en efecto, parte de la llamada "concepción heredada", la corriente de la epistemología dominante durante las primeras décadas del siglo XX, enmarcada en el llamado "positivismo lógico", "empirismo lógico" o "neopositivismo" (Palma, 2007: 68). Lo mismo puede decirse del supuesto según el cual la observación desprejuiciada, independiente de todo marco teórico, es posible y es, de hecho, uno de los pilares del conocimiento científico (*op. cit.*: 72). Estas ideas, como otros fundamentos de la "concepción heredada", han sido objeto de una dura crítica desde la filosofía de la ciencia, la historia de la ciencia y la sociología de la ciencia a partir de mediados del siglo XX (*op. cit.*: 78). Sin embargo,

estas ideas son parte del imaginario social, de una visión de la ciencia que suele calificarse como "positivista".[3]

Algunos de los supuestos del pensamiento positivista pueden resumirse de la siguiente manera (tomado de Boido y cols., 1988: 112):

a) Se da gran importancia a la lógica matemática.
b) Se sostiene que los enunciados adquieren significación solo cuando se puede concebir un método para verificarlos empíricamente.
c) Se afirma que todo conocimiento deriva de la experiencia y se funda en ella. La observación y la experimentación son pasos fundamentales y primarios de la investigación científica.

En relación con los procedimientos para producir conocimiento científico, esta perspectiva supone la existencia de un único método científico susceptible de ser caracterizado como una serie lineal de pasos a seguir.

Debemos también señalar que, en esta caracterización positivista de la ciencia, se funda la pretensión de que el conocimiento científico es la forma superior de conocimiento, lo que implica a su vez conceder gran autoridad y poder a la comunidad científica. Esta imagen es explotada por los publicistas cuando afirman en sus anuncios que la efectividad del producto que venden está "comprobada científicamente".

Esta perspectiva de la ciencia no solo está presente en el público general, incluidos docentes y estudiantes (Porlán Ariza, Rivero García y Del Pozo, 2000: 510), sino que también es frecuentemente sostenida por los propios científicos. Por ejemplo, en un reciente libro de texto de biología, encontramos las siguientes afirmaciones: "Los biólogos utilizan numerosos métodos en sus investigaciones y tienen en cuenta dos aproximaciones básicas para el estudio de la vida: observan

[3] Debemos señalar que las ideas de sentido común sobre la ciencia no se corresponden exactamente con las teorizaciones de la "concepción heredada" ni del "positivismo" (término que, por otro lado, presenta diversos significados). En general, las concepciones populares tienen múltiples orígenes y no se corresponden estrictamente con ninguna escuela de pensamiento histórica (Joshua y Dupin, 2005: 130; Gagliardi, 1988). Así, cometemos un error cuando calificamos las ideas sobre la evolución biológica de los estudiantes como "lamarckianas" (Kampourakis y Zogza, 2007).

y realizan experimentos" y "Las observaciones llevan a preguntas, y los científicos realizan observaciones y experimentos para responderlas". Luego se afirma que "El método científico consta de cinco pasos", a saber:

- Realizar *observaciones*.
- Formular *preguntas*.
- Postular *hipótesis*.
- Hacer predicciones.
- *Probar* esas predicciones mediante observaciones o experimentos.

Después, cuando se explica por qué el conocimiento científico es el más poderoso para comprender el mundo, se sostiene que las explicaciones científicas son objetivas y confiables porque las hipótesis propuestas deben ser probadas por la observación directa o la experimentación. Esta pintura del quehacer científico es muy frecuente en los libros de texto y nos permite introducir la cuestión (relacionada con el tema de la observación) de la experimentación, otra "marca" de la verdadera ciencia según las ideas de sentido común sobre el tema.

¿Es cierto que la ciencia se basa en una observación objetiva (independiente de la teoría)? ¿Es cierto que todas las hipótesis científicas se prueban mediante la experimentación? ¿Es cierto que existe un método científico (¡de cinco pasos!)? Intentaremos mostrar que estas ideas son inaceptables a la luz de las evidencias recabadas por diversos estudios metacientíficos y que son fuertemente negativas en relación con la enseñanza de las ciencias. Nos proponemos entonces cuestionar dos supuestos de esta visión de la ciencia: el rol de observación y la existencia de un método científico único.

¿EXISTE EL MÉTODO CIENTÍFICO?

Tal como hemos señalado, está muy difundida la idea de que existe un único método científico caracterizado como una serie de pasos

que se suceden en un estricto orden temporal. Los siguientes serían los característicos de "el método científico":

1. Observación.
2. Problema.
3. Hipótesis.
4. Experimento.
5. Resultado y conclusiones.

En esta secuencia, la investigación comienza cuando la *observación* desprejuiciada del mundo "sugiere" preguntas o *problemas*. Frente a estos interrogantes, y a partir de sus conocimientos previos, el investigador plantea una posible respuesta que llamamos *hipótesis*. Luego se realizan *experimentos* para comprobar si la hipótesis concebida es verdadera o no. Para tal fin, se realiza un razonamiento del tipo "si la hipótesis H es correcta, entonces en las condiciones X debería suceder Z". A esto último se refieren las "predicciones" mencionadas en la caracterización del método científico que encontramos en el libro de biología citado. Hacer el experimento consiste entonces en producir artificialmente las condiciones X y, simplemente, verificar si sucede Z. Si el *resultado* es el predicho, la *conclusión* es que la hipótesis H se acepta, y, si no sucede lo predicho, se rechaza.

Este esquema de "el método científico" no se corresponde con ninguna versión sostenida por algún autor del ámbito de la epistemología. Una de las pocas escuelas epistemológicas que han trascendido el ámbito académico para llegar a un público más amplio, incluidos los científicos, es el "falsacionismo" de Karl Popper. La idea central del *falsacionismo* popperiano es que las hipótesis científicas no pueden ser *verificadas* (en el sentido de determinarse definitivamente su carácter de verdaderas) pero sí pueden ser *falsadas*. De hecho, lo que distingue las verdaderas teorías científicas de las que no lo son es la posibilidad de imaginar situaciones que conviertan en falsa la teoría evaluada. Si no es posible imaginar alguna observación que contradiga lo que se espera a partir de la teoría, dicha teoría no es científica, pues no hay modo de saber si es correcta o incorrecta (Chalmers, 2000: 57). La versión del método cientí-

fico del *falsacionismo* es el llamado "método hipotético-deductivo". Según esta concepción, el proceso de investigación comienza con el reconocimiento de un conjunto de fenómenos intrigantes. Frente a la pregunta de por qué suceden tales fenómenos, los científicos elaboran alguna *hipótesis* que responda a dicha pregunta. Luego se *deducen* ciertas "consecuencias observacionales" de la hipótesis, es decir, algunos hechos que necesariamente deberían observarse en caso de que la hipótesis sea acertada. Luego se realizan las observaciones pertinentes de modo que, si dichas observaciones concuerdan con lo deducido, se dice que la hipótesis fue *corroborada* (pero no *verificada*). En caso de que lo observado no concuerde con lo esperado, se dice que la hipótesis se vio *refutada* o *falsada*. A diferencia de la *refutación*, que es "mortal" para la hipótesis, la *corroboración* es provisional, ya que siempre pueden aparecer en el horizonte nuevas observaciones que refuten la hipótesis (Klimovsky, 1994, 149). Este intento de caracterizar *el* método científico presenta numerosos problemas y ha recibido muchas críticas (*op. cit.*: 209; Chalmers, 2000: 82). Sin embargo, muchos científicos están convencidos de que proceden según dicho método (véase, por ejemplo, Medawar, 1997: 50).

Volviendo a la versión del método de cinco pasos, podríamos preguntarnos qué hay de objetable en esta concepción de la empresa científica, y para tal fin recurriremos a la historia con la que comenzamos el capítulo. Cualquier libro actual de biología afirma que el impacto de un asteroide fue el principal factor responsable de la extinción del cretácico. De acuerdo con la caracterización del método científico antes expuesta, podríamos suponer que esta conclusión es el resultado de un proceso que podemos imaginar como sigue. La observación de los fósiles "mostró" a los paleontólogos el "hecho" de la extinción cretácica y "despertó" en estos investigadores la pregunta "¿Qué causó esta la extinción?". Frente a esta pregunta habría surgido, entre otras, la hipótesis del impacto de un asteroide. Los investigadores habrían razonado: "Si la hipótesis es correcta, deberíamos encontrar altos niveles de iridio en el estrato correspondiente al límite entre el cretácico y el terciario". Luego, mediante un procedimiento experimental, habrían comprobado que los niveles de iridio en este estrato eran efectivamente altos y, así, la hipótesis habría

sido aceptada por la comunidad científica. Si releemos el relato con el abrimos el capítulo, comprobaremos fácilmente que esta reconstrucción del proceso de investigación constituye una idealización que implica una tergiversación y un empobrecimiento significativos del proceso. Podemos señalar muchas disonancias entre esta reconstrucción y el relato inicial:

- Los investigadores centraron su atención en la capa de arcilla porque sabían que correspondía cronológicamente a la extinción del cretácico y por eso la capa de arcilla era algo digno de "observarse" (un investigador sin este conocimiento no hubiera reparado en dicha capa).
- La hipótesis sobre el impacto del asteroide fue concebida por investigadores cuyo objetivo principal de investigación no tenía que ver directamente con la causa de la extinción del cretácico.[4]
- La hipótesis no fue bien recibida inicialmente (a pesar de la existencia de buenas evidencias) porque no encajaba en el marco teórico previo (el gradualismo).
- Los mismos registros fósiles que inicialmente se interpretaron como apoyando el carácter gradual de la extinción fueron reinterpretados, tras la aceptación de las evidencias del impacto del asteroide, como apoyando el carácter abrupto de la extinción.
- Ningún experimento resolvió la cuestión. Si bien se recurrió a procedimientos experimentales (como la medición de los nive-

[4] Lo cual no significa que la hipótesis del impacto del asteroide haya sido "casual". En consonancia con lo que diremos más adelante, debemos advertir que lo que llamó la atención de estos investigadores (la "misteriosa" capa de arcilla sin fósiles) lo hizo porque ellos sabían que esos estratos representaban una época especial en la historia de la vida, por lo que estaban atentos y "a la caza" de cualquier detalle llamativo en dichos estratos, aunque los objetivos de su investigación (la cuestión de las inversiones magnéticas y el origen de los Apeninos) no tuviera que ver con la extinción del cretácico. La idea de grandes descubrimientos que se realizan "por casualidad" es otro mito sobre la ciencia que supone que los científicos descubren realidades ya dadas. Un caso que es frecuentemente presentado de este modo es el descubrimiento de la penicilina por parte de Alexander Fleming (para una crítica a esta interpretación, véase Schnek, 2008).

les de iridio), dichos procedimientos solo aportaron evidencias parciales que se suman a muchas otras. Nótese que, eventualmente, el experimento pone a prueba la hipótesis según la cual hay altos niveles de iridio en la capa de arcilla y no la hipótesis principal de que el impacto de un asteroide provocó la extinción del cretácico.

- La investigación implicó el trabajo colaborativo y creativo de muchas personas y las personalidades de los investigadores jugaron un rol importante. Dada la sesgada visión masculina de la actividad científica no está de más señalar que, entre esas personas, se encuentra una mujer (Helen Michel).
- La consideración de múltiples evidencias, ninguna de las cuales "demostraba" por sí misma hipótesis alguna, permitió construir un relato probable de lo sucedido, comparable al trabajo de un equipo de detectives que buscan un "culpable".
- La investigación se ramificó varias veces por caminos que, vistos en retrospectiva, implicaron "callejones sin salida" (como la hipótesis de la supernova).

Como vemos, la complejidad del proceso real de investigación es mucho mayor que lo que la idea de "el método" sugiere. De hecho, existen muchos otros factores que influyen y que no hemos mencionado para no extender más nuestra historia. Por ejemplo, podemos preguntarnos si la visión fuertemente gradualista, que llevó a una peculiar interpretación inicial del registro fósil y a una fuerte desconfianza en la hipótesis del asteroide, tiene alguna relación con factores sociales "externos" a la ciencia. En este sentido, el paleontólogo estadounidense Stephen Jay Gould ha sugerido que la visión gradualista de la evolución, que según él se instaló como un "dogma", puede ser la expresión de un ideal occidental liberal de cambio ordenado y progresivo. Por el contrario, señala Gould, los científicos de la Unión Soviética estaban más predispuestos a "ver" cambios abruptos en la naturaleza (Gould, 1994: 157). Vale decir que la ideología política dominante puede haber sesgado la interpretación de las evidencias consideradas en esta discusión. Estas y otras cuestiones son objeto de análisis para la *sociología del conocimiento científico* (Palma, 2007: 93). También podríamos

indagar, entre otros factores, la influencia de la personalidad de los investigadores.[5]

En relación con el método, debemos señalar que esta noción remite a una rígida secuencia temporal de pasos que no se condice con la compleja dinámica de la investigación científica. Por ejemplo, en numerosas ocasiones, la pregunta que motivó inicialmente una investigación se reformula, dramáticamente con frecuencia, a partir de datos o reflexiones posteriores. Así, surgen nuevas preguntas que sugieren nuevas observaciones o nuevas interpretaciones de las mismas observaciones. Este hecho queda en evidencia en nuestra historia de las investigaciones de los Álvarez.

Volviendo a la cuestión central que nos planteamos en esta sección (¿existe el método científico?), lo dicho hasta aquí nos permite afirmar que no existe el método científico. Por el contrario, el análisis de la historia de la ciencia revela que los investigadores recurren a numerosas estrategias para alcanzar sus objetivos. En este sentido podemos afirmar que "el método científico" no existe y que lo que encontramos, en cambio, son diversas metodologías. Entre estas metodologías podemos mencionar (Echeverría, 1998: 116):

- Métodos deductivos e inductivos.
- Métodos de análisis y síntesis.
- Métodos experimentales.
- Métodos axiomáticos (sobre todo en ciencias formales).
- Métodos matemáticos.
- Métodos observacionales (sobre todo en ciencias sociales).
- Métodos de medición.
- Métodos de clasificación.
- Métodos heurísticos (como las simulaciones).

[5] De hecho, la personalidad de Luis Walter Álvarez es particularmente interesante. Además de sus investigaciones en física, que le valieron el premio Nobel en 1968, Louis se interesó en muchos problemas ajenos a su área de especialidad. Algún colega dijo de él que tenía un "instinto homicida" con respecto a los problemas sin resolver. Baste mencionar que se ocupó exitosamente de investigar el asesinato de J. F. Kennedy, la posible existencia de cámaras internas no conocidas en las pirámides de Egipto y, como hemos visto, la extinción de los dinosaurios (Wohl, 2007).

- Métodos hipotético-deductivos.
- Métodos computacionales.
- Métodos basados en la comprensión (sobre todo en ciencias humanas).

El método elegido dependerá de la pregunta que guía la investigación y, en general, de los intereses y objetivos de los investigadores. Por ejemplo, si la pregunta es si la frecuencia de ocurrencia de una determinada mutación que confiere resistencia a cierto antibiótico en las bacterias depende o no de la presencia del antibiótico en cuestión, es casi obvio que un enfoque experimental se adecua al caso. Se dispondrán cultivos de bacterias con el antibiótico y cultivos sin el antibiótico y se aplicarán ciertas técnicas estandarizadas para estimar la tasa de mutación. Por el contrario, si la pregunta es "¿Se desplazan las placas continentales?", difícilmente podemos concebir un experimento que dé cuenta de un problema de esta naturaleza. En este caso habrá que buscar evidencias indirectas como, por ejemplo, la distribución de los fósiles. Supongamos ahora que la pregunta es "¿Constituye el gran tamaño de las orejas de ciertos mamíferos una adaptación en relación con las altas temperaturas?". Una forma de responder a esta pregunta consiste en comparar especies de mamíferos con amplias distribuciones geográficas y ver si las variedades geográficas más cercanas al Ecuador presentan mayores tamaños de orejas que aquellas que viven en áreas más lejanas del Ecuador. Lo que se busca es una correlación entre un rasgo presuntamente adaptativo y un rasgo ecológico. Esta es una de las formas del denominado "método comparativo", característico de la biología evolutiva (Futuyma, 2005: 262; Krebs y Davies, 1993: 25; Mayr, 1998: 128). Las simulaciones informáticas también se utilizan para indagar muchos problemas de difícil abordaje experimental como la respuesta evolutiva de largo plazo de una población ante ciertos factores ambientales. En casos como el de la extinción de los dinosaurios u otros temas de la biología evolutiva, se plantea el problema de que el objetivo es reconstruir un evento del pasado, único e irrepetible. Es fácil ver que, en estos casos, un experimento no podría dar la respuesta buscada. Por eso se dice que la biología evolutiva es una ciencia "histórica" (Mayr, 2006: 50). Pero este rasgo no es exclusivo de la biología evolutiva: la geología (¿cuándo y

por qué se elevó la cordillera de los Andes?) y la cosmología (¿cómo se originó el universo?) son disciplinas históricas en el mismo sentido. Aunque en todos estos casos suele ser útil recurrir a procedimientos experimentales (como la medición del nivel de iridio en nuestra historia), no se trata de experimentos que impliquen una manipulación de los sistemas estudiados (la comunidad de dinosaurios del cretácico) ni que permitan responder directamente a la pregunta planteada (¿por qué se extinguieron los dinosaurios?).

Establecido este punto fundamental (no existe *el* método científico), podemos preguntarnos ahora si hay algo en común a todas las investigaciones científicas, más allá de la diversidad metodológica a la que acabamos de referirnos. En este sentido podemos señalar que, en general, las preguntas que se plantean los científicos son preguntas como las que a todos nos surgen frente a aquellos fenómenos que nos intrigan, solo que las preguntas científicas suelen formularse con más precisión, de modo que puedan dar lugar a una investigación. Luego, los científicos conciben posibles respuestas a estas preguntas. Se trata de las hipótesis. Estas hipótesis surgen a partir de un acto creativo, que se nutre de distintas fuentes y que recurre a diversos modos de pensar. Por ejemplo, una hipótesis puede surgir mediante un razonamiento analógico, un pensamiento que tendría la forma "¿No será que X sucede de un modo *semejante a* como sucede Y?". Tal parece ser el conocido caso del químico August Kekulé que, según su propio testimonio, concibió productivas hipótesis a partir de sus sueños en dos ocasiones. En el más famoso de estos episodios, Kekulé concibió la estructura cíclica de la molécula de benceno tras soñar con una serpiente que se mordía la cola (Gratzer, 2004: 23). Volviendo a la historia de la investigación sobre la extinción del cretácico es interesante señalar que uno de los principales temas de investigación en física de Luis Álvarez eran los "rayos cósmicos".[6] Vale decir que la hipótesis del asteroide fue concebida por una persona que, por cuestiones ajenas a la investigación que nos ocupa, estaba en condiciones especialmente favorables para pensar en términos de causas extraterrestres. En

[6] Los rayos cósmicos consisten principalmente en protones de alta energía provenientes del espacio que continuamente impactan sobre la atmósfera terrestre.

cualquier caso, una buena hipótesis sugiere a los investigadores alguna forma de intervención sobre el mundo, haciendo un experimento, una simulación informática, un análisis comparativo o aquello que se considere más prometedor para evaluar la adecuación de la hipótesis. Nada de esto será parte de la ciencia si no es comunicado al resto de la comunidad científica a través de un artículo publicado en una revista especializada o de una presentación en alguna reunión de especialistas en el área. También podrá ser comunicado, con otro estilo textual, al público general mediante alguna obra de divulgación científica o mediante la enseñanza. Lo importante es destacar que estas actividades no constituyen los "pasos" de un "método" sino que se trata de actividades que se solapan e influyen mutuamente, que implican un "ir y venir" en un diálogo continuo entre preguntas, hipótesis, observaciones y argumentaciones.

Podemos concluir esta sección diciendo entonces que no existe una receta para hacer ciencia, no existe "el método científico". Existen, en cambio, múltiples formas de concebir y poner a prueba nuestras ideas sobre el mundo. Estas metodologías se crean según las necesidades e intereses de los investigadores y su validez se consensúa a partir de la experiencia y la discusión entre los miembros de la comunidad científica. Como todos sabemos, seguir recetas no es una actividad particularmente estimulante. Sí lo es, en cambio, resolver enigmas. En este sentido creemos que, además de más próxima a la realidad, la imagen de ciencia aquí presentada es más interesante, lo cual puede ayudar a acercar al público general al mundo científico.

¿ES LA OBSERVACIÓN OBJETIVA EL FUNDAMENTO DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO?

¡Qué raro que nadie vea que toda observación debe hacerse a favor o en contra de determinada hipótesis, si es que ha de servir para alguna cosa!
CHARLES DARWIN (1861)

Uno de los rasgos distintivos de la ciencia, según la concepción popular y errónea que ya hemos descripto, puede resumirse en el lema "la ciencia se deriva de los hechos". Esto supone que los

"hechos" son afirmaciones acerca del mundo que se derivan directamente del uso cuidadoso y desprejuiciado de los sentidos (Chalmers, 2000). Esta idea es el corazón del llamado *empirismo.* Detallando un poco la cuestión, esta postura supone que:

1. Los observadores cuidadosos y desprejuiciados pueden acceder directamente a los hechos a través de los sentidos.
2. Los hechos son independientes y anteriores a la teoría.
3. Los hechos brindan un fundamento confiable y firme para la construcción del conocimiento científico.

De acuerdo con esta concepción, se afirma que la ciencia "se basa en hechos" y que las teorías científicas *surgen de* los hechos. En el ámbito de la educación, esta concepción suele traducirse en la sugerencia de que la enseñanza y el aprendizaje deben basarse en el estudio de los fenómenos, en vez de "extraviarse" en consideraciones teóricas. Al mismo tiempo, muchos divulgadores y educadores interpretan que enseñar en ciencias consiste en enseñar a realizar experimentos. Notamos en estas consideraciones un dejo empirista: basta con llevar a los niños al laboratorio para que aprendan ciencia. Deben trabajar siguiendo el método científico y de la observación objetiva de los hechos surgirá el saber. Nos proponemos ahora cuestionar la idea de que la observación desprejuiciada, en el sentido de anterior e independiente de toda teoría, es el punto de partida de la investigación científica.

Las conocidas pruebas de ilusiones ópticas nos permiten cuestionar la infalibilidad de la observación[7] desde un punto de vista fisiológico. Pruebas sencillas como el "cubo de Necker"[8] sirven para

[7] Cuando hablamos de "observar" no nos referimos exclusivamente al uso del sentido de la vista. Una "observación" podría consistir, por ejemplo, en registrar un sonido. En sentido amplio, llamamos "observación" a cualquier aspecto del mundo que, de un modo más o menos directo (frecuentemente a través de algún instrumento como el telescopio), captamos mediante alguno de nuestros sentidos.

[8] Se trata de un simple dibujo de un cubo en el que se ven todos sus lados. Si observamos dicho cubo fijamente, nos parecerá que la cara dibujada más abajo parece ser la cara más cercana al observador, pero esta percepción da lugar en pocos segundos a la contraria: ahora esa cara parece ser la más lejana del observador y la más cercana parece ser aquella dibujada más arriba. Ambas percepciones se suceden de un modo continuo, fenómeno llamado "percepción multiestable".

evidenciar que dos personas (e incluso la misma persona en distintos momentos) sometidas al mismo estímulo pueden "ver" cosas diferentes. Podría parecer que este tipo de pruebas no tiene ninguna relevancia para la cuestión del rol de la observación en las ciencias naturales, pero las ilusiones ópticas sirven para establecer un punto fundamental: la observación no depende solo de lo observado, sino también del observador. Más específicamente, sostendremos que lo que un observador observa depende de sus conocimientos previos. Por ejemplo, en las prácticas científicas podemos encontrar numerosas situaciones en las que lo que el sujeto "ve" depende de su experiencia, conocimientos previos y expectativas. Un caso familiar es el de los trabajos prácticos de biología en los que se pide que el estudiante observe (y frecuentemente dibuje también) alguna estructura biológica a través del microscopio. Es muy común que, en tales circunstancias, el novato no logre ver lo que el experto espera que vea. Frente a la tentación de responder que ambos sujetos ven lo mismo y que lo que difieren son sus interpretaciones, debemos recordar algunos hechos básicos de la fisiología de la percepción. En el mejor de los casos podemos admitir que en las retinas de ambos se forman las mismas imágenes pero, y esto es crucial, no tenemos un acceso directo a dichas imágenes (Chalmers, *op. cit.*). Por el contrario, lo que "vemos" es una sofisticada reconstrucción que el cerebro lleva a cabo a partir de estímulos fragmentarios que llegan a través de los sentidos (Pinker, 2000). Lo dicho hasta aquí no supone que la observación sea algo tan inestable que sea imposible establecer una base empírica para la ciencia; solo pretende cuestionar la visión ingenua según la cual "los hechos hablan por sí mismos" y nosotros captamos ese discurso con nuestros sentidos.

Volveremos ahora al relato inicial para ofrecer otra ilustración de este punto en relación con la interpretación del registro fósil. Según algunos análisis históricos, cuando los paleontólogos observaron el registro fósil con las "gafas teóricas" del *gradualismo*, creyeron ver claras evidencias de una extinción paulatina, mientras que cuando se deshicieron, al menos parcialmente, de dichas "gafas teóricas" pudieron ver evidencias de una extinción abrupta. En efecto, las abrumadoras pruebas a favor de la hipótesis del impacto del asteroide llevaron a muchos paleontólogos a preguntarse si los métodos

de análisis del registro fósil que estaban utilizando, y que sugerían una extinción gradual, eran los más adecuados. Análisis posteriores mostraron que la apariencia de gradualidad podría ser un "artefacto" del método de análisis más que un rasgo del propio registro fósil. El hecho de que extinciones abruptas puedan aparecer como graduales en el registro fósil se conoce actualmente como "efecto Signor-Lipps" (Gould, 1997). El punto es que el mismo registro fósil fue interpretado de modos muy distintos según el "clima intelectual" imperante.

Siguiendo con el mismo tema, y para aquellos que creen que la existencia de los fósiles es un "hecho" que constituye una prueba evidente de la evolución, debemos recordar que este "hecho" fue interpretado por naturalistas del pasado de modos muy distintos del actual. Por ejemplo, para muchos naturalistas del siglo XVI, como Conrad Gesner (1516-1565), muy influenciados por la filosofía neoplatónica, la interpretación de los fósiles estaba muy lejos de la nuestra. El universo renacentista neoplatónico de estos naturalistas estaba repleto de "correspondencias ocultas" que podían revelarse como semejanzas entre cualesquiera partes del universo. Por el mismo motivo, todas las partes del universo se influenciaban entre sí (en este marco se entendía la astrología). Esta "magia natural" era parte del modo en que muchos naturalistas de la época entendían el mundo. En este marco, muchos creían que los fósiles eran el producto de ciertos fluidos que se solidificaban en el interior de las rocas. El parecido con los actuales seres vivos no implicaba para ellos una relación causal: los fósiles no debían su existencia a los restos de seres que alguna vez habían estado vivos. Este parecido era una expresión más de las misteriosas correspondencias que se daban entre todas las partes del cosmos, un cosmos en el que, de hecho, no había una tajante división entre lo vivo y lo no vivo (Bowler, 1998: 60; Rudwick, 2008: 222). Como vemos, es interesante recurrir a la historia de las ciencias para advertir que muchos "hechos" que hoy nos parecen evidentes solo lo son desde nuestros actuales marcos teóricos. Puede en este punto surgir la tentación de pensar: "Bueno, pero estos naturalistas del pasado no eran científicos". Esta observación supone que los científicos abordan los problemas sobre el mundo con unas destrezas intelectuales que son ajenas al resto de los mortales. Se trata, de más está decirlo, de un supuesto insostenible.

Los procesos cognitivos que ponen en juego los científicos (analogía, argumentación, inducción, etc.) son los mismos que usamos todos en nuestra vida cotidiana. Este es el fundamento de una actual corriente epistemológica denominada "teoría cognitiva de la ciencia" (Giere, 1992). Así como la interpretación de los fósiles de estos naturalistas del pasado estaba "teñida" por su visión general del mundo, también lo están nuestras interpretaciones actuales. Esto no nos impide reconocer, al mismo tiempo, que nuestras interpretaciones son, en algún sentido, mejores que las del pasado.

Podemos también hacer en este punto una breve reflexión sobre el concepto de "dato". En nuestra historia, el alto nivel de iridio en el límite K-T constituyó un dato importante. Pero es evidente que la cantidad de iridio no tendría la menor importancia para alguien que no estuviera pensando en una posible causa extraterrestre de la extinción del cretácico. De hecho, sin la guía teórica de esta hipótesis los altos niveles de iridio jamás habrían sido "observados". Como vemos, el hecho de que una observación constituya o no un dato depende de qué se quiere comprender y de qué aspectos del mundo se consideran pertinentes en relación con dicho problema.

Así, podemos decir que el modo en que los científicos observamos el mundo depende del marco teórico desde el cual lo hacemos. Este marco nos predispone positivamente para "observar" ciertos "hechos" y negativamente frente a otros. Por otro lado, las afirmaciones derivadas de la observación no son totalmente fiables. Por ejemplo, la idea según la cual la Tierra no se mueve es avalada por numerosas observaciones: no vemos que la Tierra se mueva, no sentimos dicho movimiento de ningún modo, si saltamos caemos en el mismo lugar, etc. Nuestros conocimientos actuales nos llevan a desconfiar de estas observaciones, al punto de aceptar como evidente la afirmación contraria, a saber, que la Tierra se mueve. Este caso evidencia que los "hechos" y las "observaciones" son falibles, es decir, están sujetos a futuras rectificaciones (Chalmers, 2000: 17). Es que, en definitiva, los "hechos" no nos son dados directamente por el mundo a través de nuestros sentidos, sino que, más bien, son una construcción de nuestro intelecto. En este sentido, podemos decir que un *hecho* es un "modelo teórico de interpretación" (Fourez, 1994: 29).

No se trata entonces de negar que la observación tenga un rol fundamental en la construcción del conocimiento científico sino de reconocer que la observación no es, ni puede ser, anterior a la teoría. El hecho de que la observación dependa de la teoría es lo que se ha llamado "carga teórica de la observación" (Estany, 1993: 107). Se trata, más en general, de reconocer que la tesis fuerte del *empirismo* según la cual el conocimiento se deriva de la experiencia sensorial ha mostrado ser inadecuada como conceptualización acerca del modo en que los seres humanos construimos el conocimiento. Es necesario resaltar esta conclusión porque, a pesar de las contundentes evidencias convergentes provenientes de distintas áreas de investigación, el empirismo sigue siendo un "credo indiscutible" para muchos científicos (García, 2000: 23-24).

Dicho esto, debemos decir que los sesgos derivados del investigador, de sus marcos teóricos y de los instrumentos de observación pueden ser detectados, discutidos y en cierta medida corregidos y minimizados. El hecho de que el establecimiento de cuáles son los "hechos observables" sea en gran medida resultado de un proceso público y colectivo (y no privado y particular) ayuda significativamente a esta "corrección". Después de todo, hoy creemos, y tenemos buenos motivos para hacerlo, que la Tierra se mueve y que el impacto de un asteroide es una de las principales causas de la extinción del cretácico.

La ciencia recurre a datos empíricos, pero esto no implica asumir una posición empirista. Resulta útil entonces diferenciar entre *empirismo* y *ciencia empírica*, como lo hace Rolando García (*op. cit.*). Como vimos, el *empirismo* sostiene que la ciencia "se basa en hechos" y que las teorías científicas *surgen* de los hechos. La endeblez de las posiciones empiristas reside en la aceptación de los datos sensoriales como indubitables. Esto equivale a aceptar que la percepción es una lectura pura de la experiencia (*op. cit.*: 194). Toda verdad –en este contexto– proviene de nuestra interacción con el mundo por medio de los sentidos; sin embargo hoy se reconoce que no es posible probar la verdad de una teoría por medio de evidencia empírica (adaptado de Boido y Lombardi, 2009).

Aceptar que la ciencia es empírica (lo que no necesariamente significa *experimental* en el sentido clásico) significa reconocer que sus explicaciones son aceptables si las constataciones empíricas no las refutan, si las observaciones y los hechos que se intentan interpretar concuerdan con las afirmaciones de la interpretación propuesta. Lo

que se cuestiona, y se ha logrado eliminar del debate científico (no así desde el sentido común, como mencionamos), es la posición empirista. La observación astronómica de un fenómeno singular puede considerarse un dato empírico. Sin embargo, dentro de un marco empirista, dicha observación sería el punto de partida del conocimiento astronómico y el resultado únicamente de la percepción, de la experiencia inmediata; la observación sería estrictamente un estímulo sensorial desprovisto de todo tipo de interpretación. Al respecto, Rolando García afirma de manera contundente:

> No deja de ser motivo de asombro –por lo menos para quien esto escribe– que el empirismo continúe vigente y que sea para un gran porcentaje de científicos [...] un credo indiscutible, no obstante haber sido descalificado, tanto por la imposibilidad de cumplir con su programa [...] como por la refutación de sus hipótesis de base (2000: 22).

En síntesis, podemos concluir que las observaciones, los "hechos" y los "datos" dependen de los marcos teóricos del investigador: el conocimiento no se deriva directamente de la observación. Los "hechos observacionales" (por ejemplo, "la Tierra se mueve" o "las especies evolucionan") son a la vez *objetivos* y *falibles*. *Objetivos* porque pueden establecerse públicamente mediante procedimientos más o menos directos y *falibles* porque pueden modificarse a partir de nuevas consideraciones (Chalmers, 2000: 23). Dado que los experimentos implican la observación e interpretación de fenómenos y la obtención de datos, habrá quedado claro que no se trata de procedimientos puramente objetivos e independientes de la subjetividad del experimentador.

ENTRE EL POSITIVISMO Y EL RELATIVISMO

Las críticas a las visiones positivistas de las ciencias han resultado, con demasiada frecuencia, en una visión antagónica, "posmoderna", según la cual la ciencia es tan solo un tipo más de discurso (Palma, 2007: 112). De acuerdo con esta perspectiva relativista, las teorías científicas son el resultado de ciertos procesos de negociación en la comunidad científica en los cuales la retórica (léase, la capacidad

de convencer) tiene un rol fundamental. En sus versiones extremas, esta mirada implica un fuerte relativismo según el cual el discurso científico no puede reclamar más credibilidad que el de, pongamos por caso, la astrología o el creacionismo. Esta es la postura de la "teoría anarquista de la ciencia" de Paul Feyerabend (Chalmers, 2000: 147).

Comprender qué es la ciencia implica, según creemos, hallar una postura intermedia entre el *positivismo* y el *relativismo*. Buscamos, así, una mirada más amplia de la empresa científica que la ofrecida por el positivismo y que, al mismo tiempo, preserve las peculiaridades de la ciencia, contra la conclusión de que el conocimiento científico es "solo una forma de más conocimiento". Por ejemplo, es evidente que el análisis de los componentes retóricos del quehacer científico es pertinente y enriquecedor, pero se puede admitir esto sin concluir que entonces el conocimiento científico aceptado lo es meramente como el resultado de la habilidad de sus promotores para convencer a los demás. De hecho, algunos autores que han analizado la retórica de la ciencia no dejan de considerar que el conocimiento científico es la forma superior de conocimiento (Palma, 2007: 110). Del mismo modo, aunque reconocemos que la construcción de lo que se considera un "hecho científico" está socialmente mediatizada, no creemos que estos hechos sean meras construcciones sociales, en el sentido de no tener ninguna conexión significativa con una realidad independiente de los observadores (Echeverría, 1998: 145). Rechazamos el *absolutismo* de las posturas positivistas según el cual es posible acceder al conocimiento absoluto, esto es, independiente del sujeto y de toda circunstancia. Pero rechazamos también la alternativa *relativista* extrema según la cual nada podemos decir sobre el mundo. Preferimos pensar el conocimiento científico como una construcción interpretativa que se inserta en determinados proyectos humanos (Fourez, 2008: 144). Se trata, en definitiva, de apreciar la diferencia entre percibir la relatividad de los discursos (entre ellos el científico) y ser relativista (*op. cit.*: 145).

Por otro lado, proponemos considerar la ciencia como una actividad humana que no solo busca comprender el mundo, sino también transformarlo. Esta intervención transformadora está guiada por ciertos fines y valores (Izquierdo Aymerich, 2000: 41). Así, al considerar cuestiones tales como los valores, rechazamos la falsa imagen "aséptica" y desinteresada de la actividad científica.

En este desarrollo que proponemos adherimos a una visión de la ciencia que se denomina *realismo pragmático*, la cual implica un *realismo y un racionalismo moderados*. Lo primero (*realismo*) no supone considerar el conocimiento científico como una "copia" de la realidad en el sentido del empirismo que hemos rechazado. Consideramos que la ciencia produce *modelos* que son representaciones de la realidad. Estos modelos son inevitablemente parciales y perfectibles pero, al mismo tiempo, tienen *una cierta semejanza* con el mundo real. En relación con la segunda cuestión (*racionalismo*), se trata de reconocer que existen criterios relativamente objetivos y fiables para producir y validar el conocimiento científico a la vez que reconocemos que dichos criterios cambian según las épocas y que son el resultado de consensos alcanzados en la comunidad científica. Vale decir que estos procedimientos no nos permiten suponer que el conocimiento científico esté "demostrado", en el sentido de ser verdadero de una vez y para siempre, pero tampoco implican que el conocimiento (provisionalmente) aceptado sea arbitrario. En un determinado momento, la comunidad científica no acepta ciertos modelos "porque sí" sino por buenos motivos: porque brinda mejores explicaciones de ciertos fenómenos, porque permite intervenciones más potentes sobre el mundo, etc.

La "concepción heredada" consideraba que en la actividad científica se podían distinguir dos contextos. El *contexto de descubrimiento* se refería a la creación de hipótesis por parte del científico. Los factores sociológicos y psicológicos se limitaban a influir en esta instancia y eran totalmente irrelevantes para la justificación del conocimiento. Por el contrario, el *contexto de justificación* se refería a los factores lógicos y empíricos que permiten a la comunidad científica evaluar las hipótesis concebidas (Palma, 2007: 75). Un modo de flexibilizar, complejizar y enriquecer nuestra imagen de la ciencia consiste en incluir en el análisis más contextos además del de descubrimiento y el de justificación y en analizar la relación entre la ciencia y los valores (Echeverría, 1998). Podemos distinguir así cuatro contextos de la actividad tecnocientífica: el *contexto de educación* (enseñanza y difusión de la ciencia), el *contexto de innovación*, el *contexto de valuación* (o valoración) y el *contexto de aplicación* (*op. cit.*: 58). Son diversos los aspectos novedosos que esta perspectiva introduce frente a la concepción tradicional. La inclusión de la educación es ya una innovación interesante. Según Echeverría no hay ciencia

posible sin educación en sentido amplio, por lo que un análisis integral de la ciencia debería atender a este contexto. El contexto de innovación incluiría el contexto de descubrimiento más los procesos de invención debidos a ingenieros y otros técnicos: por eso se habla de "innovación" y no de "descubrimiento". El antiguo contexto de justificación se denomina aquí "de evaluación", incluyendo así no solo la fundamentación de las teorías sino también la valoración de las innovaciones tecnológicas. En estos dos últimos contextos (innovación y evaluación) tienen gran incidencia los factores sociales en sentido amplio (más allá de la comunidad científica). Finalmente, tenemos el contexto de aplicación, relacionado con los modos de utilización del conocimiento científico para modificar el mundo. De más está decir que estos contexto, distinguidos con fines analíticos, interactúan de modos complejos en la realidad.

En relación con los valores, la concepción tradicional ha considerado que los únicos valores implicados en la actividad científica son los denominados "valores epistémicos", es decir, aspectos tales como la coherencia, la simplicidad y la capacidad predictiva. En su versión extrema, esta visión de la ciencia reconoce la pertinencia de un único valor: la verdad. Esta postura es llamada "monismo axiológico". Desde las perspectivas actuales esta afirmación parece insostenible, ya que, si consideramos que la ciencia busca transformar el mundo (y no solo comprenderlo), resultará evidente que la actividad científica implica decisiones guiadas por *valores*, es decir, guiadas por lo que los investigadores consideran bueno o malo, deseable o indeseable. En síntesis, una mirada amplia y compleja de la empresa científica debería incluir algún análisis de la relación entre los valores y la ciencia.

LA IMPORTANCIA DE LAS EPISTEMOLOGÍAS ESPECÍFICAS[9]

Los temas que hemos discutido hasta aquí son los generales de la epistemología de las ciencias naturales. En esta última sección

[9] El ejemplo que utilizaremos pertenece a la epistemología de la biología. Si bien es cierto que esta es la epistemología específica más desarrollada (después de la de la física, claro está), en principio, nuestros argumentos pueden extenderse a los análisis epistemológicos específicos de otras disciplinas científicas.

queremos mostrar que existen problemas epistemológicos específicos de las diferentes ciencias naturales. Tener en cuenta estas particularidades nos ayudará a construir una imagen más plural de las ciencias y puede ser de gran utilidad a la hora de su enseñanza.

La "veneración de la física"

La concepción heredada tomó como paradigma de disciplina científica la física clásica. Esta forma de entender qué es la ciencia se denomina "fisicalismo" (Mayr, 2006: 30; Echeverría, 1999: 77). No debería sorprendernos entonces que las teorizaciones de la epistemología se adecuaran mejor a la física que a las demás ciencias. Por ejemplo, la pretensión de que una ciencia deba identificar leyes universales (como las de Newton) ha sido cuestionada para el caso de la biología.[10] Aunque hace ya algunas décadas que la identificación de problemas específicos de las distintas ciencias dio lugar a las "epistemologías específicas", el arsenal teórico con que se abordaron inicialmente estos problemas fue el de la epistemología clásica fisicalista. Tal es el caso de los primeros libros de filosofía de la biología, como el publicado en 1973 por un filósofo de la biología, el canadiense Michael Ruse (Mayr, 2006: 17), que, por así decirlo, intentaron "hacer encajar" la biología en el molde de la física.

En relación con estos problemas proponemos aquí dos ideas. La primera consiste en reconocer que las diferentes ciencias tienen rasgos epistemológicos específicos que las hacen, en alguna medida, únicas y que, por lo tanto, la epistemología no puede pretender que todas las ciencias "encajen" en unos esquemas teóricos "hechos a medida" de la física. La segunda idea es que los desarrollos de las epistemologías específicas son interesantes para tener una visión amplia de la actividad científica y son de particular interés para la enseñanza de las ciencias (Adúriz-Bravo, Erduran y Meinardi, 2002).

[10] Debemos aclarar que las críticas clásicas a la concepción heredada no se refieren a la escasa adecuación de esta epistemología a las ciencias distintas de la física sino a su inadecuación para dar cuenta de la naturaleza de la propia física.

Algunas particularidades de la biología

Siguiendo con el ejemplo de la epistemología de la biología, comentaremos brevemente un rasgo epistemológico propio de la biología: la "doble" causalidad. El hecho de que todo fenómeno biológico puede entenderse como consecuencia de dos tipos de causas: las "causas próximas" y las "causas últimas" (Mayr, 1998: 86). Entenderemos mejor este concepto con un ejemplo. Pensemos en una especie de mariposa que posee una coloración muy semejante a la coloración de la corteza de los árboles en que habitualmente se posan. Podríamos ahora preguntarnos *por qué* esa especie tiene esa coloración. Un biólogo podría respondernos algo así: "los individuos de esta especie poseen ciertos genes que codifican ciertas proteínas cuya estructura hace que reflejen luz de determinada longitud de onda, de modo que el resultado es ese color pardo, tan parecido al color de la corteza". Esta explicación es, en principio, una posible respuesta a la pregunta "¿Por qué estas mariposas tienen un color tan semejante al de la corteza?". Pero alguien podría sentir que no todo está dicho y preguntar por qué estas mariposas tienen esa coloración y no otra. Si volvemos a la respuesta anterior e insistimos con, por ejemplo, la identificación de ciertos genes, nuestro crítico imaginario dirá: "De acuerdo, pero por qué estas mariposas tienen *esos* genes (y proteínas, etc.) y no otros". Entonces, otro biólogo podría decir que lo que sucede es que, en el pasado, aquellos individuos que nacieron con esos genes (y que, por lo tanto, presentaban un color semejante al de la corteza) tuvieron más probabilidades de sobrevivir porque eran menos detectables para sus depredadores. Por el mismo motivo, estos ejemplares tenían también mayores probabilidades de reproducirse que aquellos que tenían genes alternativos, por lo que aumentó la frecuencia de individuos con estos genes (en detrimento de la frecuencia de individuos con genes alternativos). Esta explicación parece tan pertinente como la primera. Pero, entonces ¿cuál de las dos respuestas es la más adecuada? La respuesta es que ambas son igualmente adecuadas. La primera identifica las "causas próximas" del rasgo. Se trata de los mecanismos físicos, químicos y fisiológicos inmediatos que producen el rasgo en el organismo. Este tipo de respuesta es dada por la fisiología, la genética, la embriología,

etc. Es la denominada "biología funcional",[11] que nos dice cómo se construye y funciona el rasgo en el organismo individual. La segunda respuesta identifica las llamadas "causas últimas" y nos las brinda la denominada "biología histórica o evolutiva" (Mayr, 2006: 40-41). En este caso, se recurre a la historia de la especie para explicar por qué el rasgo es el que es y no otro alternativo.[12] Esta "doble causalidad" no es pertinente para la física ni para la química.

Otro rasgo epistemológico propio de la biología lo constituye el rol de las *explicaciones funcionales* (o, más en general, las *explicaciones teleológicas*). Analizamos este tema en nuestro capítulo sobre evolución.

Así, comprender en profundidad una ciencia implica comprender también las peculiaridades epistemológicas de dicha ciencia.

El problema del reduccionismo

Para finalizar, comentaremos de una manera muy breve[13] el problema del reduccionismo. Se trata de un problema epistemológico que aún despierta tensiones en ámbitos científicos -aunque muchas veces con escasos fundamentos- y que tiene una notable relevancia para la biología. En epistemología *reducir* significa, en términos generales, transformar algo en un objeto considerado como anterior o más fundamental (Ferrater Mora, 1999: 3026). Lo que nos ocupa aquí es la posibilidad de reducir la biología a la física. Pero, precisando un poco el problema, descubriremos que "reducir" puede significar cosas bien distintas. Podemos entonces distinguir entre dos grandes tipos de reduccionismo: el *reduccionismo ontológico* y el *reduccionismo semántico* (también llamado reduccionismo explicativo, teórico o epistemo-

[11] La distinción entre "biología funcional y "biología evolutiva" y algunas de sus consecuencias epistemológicas es analizada en Caponi (2001).

[12] Suele decirse que las causas últimas responden el "por qué" y las causas próximas el "cómo" del rasgo analizado. Sin embargo, esta distinción lingüística no es estricta. De hecho, en nuestra exposición mostramos que la pregunta "¿por qué?" puede remitir a ambos tipos de causas: porque tienen esos genes (causas próximas) o porque fue seleccionado por los depredadores (causas últimas).

[13] Para un análisis profundo de este tema véanse los artículos del filósofo de la ciencia Gustavo Caponi (Caponi, 2007, 2004).

lógico). El primero se refiere a la reducción de unos objetos a otros (organismos a moléculas, por ejemplo), mientras que el segundo se refiere a la reducción de unos enunciados a otros (leyes biológicas a leyes físicas, por ejemplo). El tema es relevante para analizar la relación entre la biología y la física. Así, un reduccionista ontológico diría que, en definitiva, los sistemas biológicos están formados exclusivamente por aquellas partículas elementales que estudia la física (átomos, electrones, etc.). También se afirma que los procesos biológicos a nivel molecular están regidos por las leyes de la física y la química. El reduccionista semántico, por su parte, diría que las leyes y teorías de la biología constituyen un caso particular de las leyes y teorías de la física o, lo que es equivalente, que las teorías de la biología pueden derivarse lógicamente de las de la física. También podríamos definir un *reduccionismo metodológico* que, sin sostener ninguna de las dos posturas mencionadas, afirma que los fenómenos biológicos se estudian mejor en sus más bajos niveles de complejidad, en definitiva en el nivel de átomos y moléculas (Dobzhansky y cols., 1980: 486-492).

Aceptamos el reduccionismo ontológico, ya que negarlo implicaría suponer que los seres vivos están constituidos por "algo más" que átomos y moléculas, lo que nos acercaría a las tesis del *vitalismo* (*op. cit.*: 486). Al menos en ciertos casos, podríamos aceptar cierto reduccionismo metodológico moderado. Por ejemplo, sería necio negar la pertinencia y potencia de los conocimientos de la biología molecular para la comprensión de fenómenos biológicos en niveles superiores. Así, sería absurdo no reconocer que la comprensión de los procesos físico-químicos que se dan en la transmisión del impulso nervioso es pertinente para comprender la conducta de un animal. El problema se presenta con el reduccionismo semántico, es decir, con la reducción de unas teorías a otras. En el caso que nos ocupa, esta forma de reduccionismo supone que "Todo en la naturaleza viviente puede ser reducido a la química y la física" (Mayr, 2006: 94). Lo que esta forma de reduccionismo fomenta es la veneración de la física (Putnam, 1973), es decir, se trata de otra expresión del ya mencionado fisicalismo.

Señala Mayr:

> El físico más pragmático confiesa que los avances espectaculares de la física del estado sólido y de las partículas elementales no han tenido

> realmente ningún impacto sobre el concepto del mundo medio. [...]. En realidad, ahora es bastante evidente que un conocimiento exhaustivo de los protones, los neutrinos, los *quarks*, los electrones y cualesquiera otras partículas elementales que pudieran existir no ayudaría en absoluto a explicar el origen de la vida, la diferenciación por medio de la ontogenia, o las actividades mentales del sistema nervioso central. Las afirmaciones opuestas, hechas tan a menudo por reduccionistas excesivamente entusiastas, carecen de fundamento (Mayr, 2006: 100).

Algunos reduccionistas epistemológicos sostienen que esta reducción no es posible ahora, dado el actual estado del conocimiento, pero que lo será con el tiempo. Esta afirmación es, sin embargo, difícil de sostener ya que supone avances científicos no especificables (Dobzhansky, y cols., 1980: 492). Tomando el ejemplo de la biología evolutiva, las pretensiones del reduccionismo epistemológico parecen aún más insostenibles. Pensemos, por ejemplo, en la posibilidad de traducir el concepto darwiniano de "valor adaptativo" a términos físico-químicos. Podemos concluir que muchos años de debate y numerosos intentos han llevado al fracaso de la empresa reduccionista (en su sentido semántico). La mirada reduccionista de las ciencias, si bien aún vigente en algunos científicos, es el resabio de una posición anticuada que hoy en día tiene escaso sustento dentro de la discusión académica (Mayr, 2006: 108).

Con estas reflexiones sobre la epistemología específica de la biología concluimos este capítulo. Nuestra exposición ha estado centrada en el cuestionamiento de ciertas concepciones ampliamente difundidas sobre la ciencia y hemos ofrecido una visión alternativa. Un aspecto importante de esta alternativa, que queremos resaltar en estos párrafos finales, es que no implica una adhesión a las visiones relativistas. Nuestra visión crítica podría hacer que algún lector razonara: "Pero si la observación no es totalmente objetiva, si la ciencia está bajo la influencia de infinidad de factores personales y sociales, y si los científicos no describen la realidad directamente sino que construyen modelos de esa realidad, ¿por qué deberíamos entonces creer que esos modelos son más cercanos a la realidad que, pongamos por caso, los de la religión o los de los mitos tradicionales?". Para prevenir esta conclusión, que creemos injustificada, hemos señalado

que es posible admitir esta visión crítica de la ciencia y sostener, al mismo tiempo, que el conocimiento científico "dice algo" sobre la realidad. Es más, podemos sostener aun la idea de que el conocimiento científico es, en este sentido, el más "potente". Son varios los argumentos con que podemos sostener esta conclusión. Mencionar, por ejemplo, el hecho de que la ciencia, a diferencia de otros sistemas de pensamiento como la religión, implica una continua revisión de sus modelos que lleva a la modificación o al reemplazo de unos modelos por otros más adecuados. También la creciente capacidad que la ciencia y la tecnología han desarrollado a fin de manipular el mundo, para bien y para mal. Como ejemplo, podemos mencionar a Pampa Mansa, una vaca clonada y transgénica. Sus células tienen el gen humano que codifica para la hormona de crecimiento humano y dicho gen se expresa en las glándulas mamarias. El resultado es notable: se trata de una vaca que produce leche con hormona de crecimiento humano, necesaria para ciertas terapias médicas (Curtis y cols., 2008). El hecho de que los biólogos hayan podido producir una vaca como Pampa Mansa es una evidencia de que los modelos de que disponen estos biólogos sobre qué son y cómo funcionan los genes, y otras entidades biológicas, dicen algo relevante sobre la realidad.

La ciencia es, sin dudas, uno de los modos más sofisticados y potentes que la humanidad ha desarrollado para comprender y transformar el mundo. Al mismo tiempo, la ciencia es parte de la compleja trama de nuestra sociedad y, como tal, influye sobre y es influida por todos los demás componentes de dicha trama. Por último, es una actividad hecha por hombres y mujeres que persiguen ciertos fines, algunos personales y otros institucionales o sociales, fines que responden a ciertos valores y que condicionan, en alguna medida, los modos y los resultados de la investigación científica.

PENSAR LAS PRÁCTICAS

Sugerimos algunas actividades para trabajar, con estudiantes de educación media o superior, varios de los temas tratados en este capítulo.

I. Sobre el método científico

Puede ser útil presentar a los estudiantes algún esquema de "el método científico", como el que hemos criticado, o alguna versión del método hipotético-deductivo, para luego analizar explícitamente las limitaciones de dicho esquema. Para tal fin, es útil recurrir a la historia de las ciencias, de modo de analizar en qué medida el esquema del método propuesto puede dar cuenta de las complejidades de los procesos de investigación científica reveladas por la historia.

A fin de poner en evidencia la diversidad de metodologías científicas también puede pedirles a sus estudiantes que describan cómo los científicos trabajan a partir de analizar diversos ejemplos de investigaciones científicas. Para eso, puede recurrir a artículos y libros de divulgación científica o a los numerosos y excelentes documentales fílmicos actualmente disponibles. Es importante que el docente seleccione para esta actividad ejemplos de investigaciones que muestren un panorama diverso de las metodologías científicas. Interesa prestar atención a en qué casos se recurrió a la experimentación y en qué casos no y por qué.

II. Sobre la observación

Hemos cuestionado la idea de que la observación implica un acceso directo y objetivo a la realidad y hemos rechazado también la alternativa según la cual la realidad es inaccesible a nuestros sentidos. El análisis de algunos casos clásicos de la historia de las ciencias puede servirnos para tratar estos temas en las aulas. Por ejemplo, el caso de Galileo y las lunas de Júpiter (relatado por Chalmers, 2000) puede ser útil a fin de mostrar al mismo tiempo las dificultades para establecer hechos observables y cómo los procedimientos científicos permiten paliar con bastante éxito estas dificultades. El caso de las diferentes interpretaciones del registro fósil comentado en este capítulo también puede utilizarse para el mismo fin.

III. Sobre la naturaleza de la actividad científica

Una actividad muy enriquecedora consiste en analizar qué imagen de ciencia presenta un texto científico (libros, documentales fílmicos,

revistas, películas de ficción, etc.). Por ejemplo, puede tomarse un libro de texto de física y pedir a los estudiantes que lo analicen a partir de las siguientes preguntas orientadoras:

a) ¿Aparecen los científicos que construyeron el conocimiento? ¿Quiénes y cómo son los científicos, en caso de que aparezcan (varones, mujeres, blancos, etc.)?
b) ¿Cómo se presenta el conocimiento científico (infalible, estático, definitivo, provisorio, aproximado, etc.)?
c) ¿Qué rol se le asigna a la observación (comprobación, verificación, etc.) y cómo se la considera (objetiva, inequívoca, falible, etc.)?
d) ¿Qué rol se le asigna a la experimentación (un recurso único e indispensable, un recurso posible pero no único, etc.)?
e) ¿Cómo se caracteriza el trabajo científico (individual, grupal, etc.)?
f) ¿Cómo se relaciona la ciencia con el resto de la sociedad (aparecen conexiones con la política y la economía, la ciencia aparece aislada, etc.)?
g) ¿Aparecen debates y disensos?
h) ¿Aparecen factores "no epistémicos" (ideología, rasgos de personalidad, etc.)?

Los libros de texto suelen tener entre sus primeros capítulos uno dedicado a cuestiones epistemológicas. Podemos analizar con nuestros estudiantes en qué medida lo que se declara en dicho capítulo es coherente con lo que aparece en el resto del libro. Por ejemplo, si se afirma que el conocimiento científico es provisional, ¿cómo se ve esta cuestión en los capítulos dedicados a los temas propios de la disciplina en cuestión?

IV. Sobre la complejidad de la actividad científica

Comprender en alguna medida la complejidad de la empresa científica y sus múltiples conexiones con el resto de la sociedad requiere un análisis mínimamente profundo. Una forma de trabajo de mediano/largo plazo, que tiene múltiples beneficios, consiste en la lectura de un libro completo durante el año escolar. Existen muchos

buenos libros de divulgación sobre ciencias que podrían servir para este propósito. En relación con nuestro tema, podemos recurrir a biografías (o autobiografías) de científicos o relatos sobre algún avance científico importante. Por ejemplo, Jordan (2001) ofrece un relato crítico sobre la investigación genética que revela parte de los factores políticos, económicos e ideológicos implicados en esta área de la investigación científica cuya importancia para la vida de todos es cada vez mayor. En *La doble hélice* (Watson, 1994), el relato autobiográfico de James Watson sobre el descubrimiento de la estructura de la molécula de ADN, se evidencian cuestiones tales como las ambiciones personales de los científicos. La *Autobiografía* de Charles Darwin (Darwin, 2008) resulta por demás interesante, por ejemplo, porque (en su versión no censurada) incluye reflexiones de Darwin sobre la religión. *Naturalistas curiosos* (Tinbergen, 1994) constituye un ameno relato en primera persona de las investigaciones de Niko Tinbergen, uno de los fundadores de la etología, y constituye una buena introducción a un área de la biología, poco conocida por el público general, que combina distintas metodologías tales como la experimentación y los estudios de campo.

La elección de estos textos debe ser cuidadosa, ya que muchas biografías y relatos de investigaciones científicas no hacen más que repetir muchos mitos sobre la ciencia, entre ellos los que hemos cuestionado en este capítulo. Así, por ejemplo, son frecuentes las biografías "hagiográficas" en que los científicos son presentados como genios solitarios e iluminados. Por otro lado, todas estas lecturas serán provechosas en la medida en que la guía del docente permita ir más allá de lo anecdótico para construir algunas reflexiones interesantes y para aportar una mirada crítica allí donde el texto abone alguno de los mitos cuestionados. Las preguntas sugeridas en la actividad anterior pueden servir de guía para este análisis.

V. Sobre las particularidades de cada ciencia

En la última sección de este capítulo analizamos la importancia de las epistemologías específicas. Podemos tomar casos de la historia de la biología (o de cualquier otra ciencia) para ilustrar principios epistemológicos generales (como la generación de hipótesis).

También puede ser más interesante diseñar actividades que impliquen el análisis de casos que sirvan para pensar acerca de cuestiones epistemológicas. Siguiendo con los casos analizados, podríamos diseñar actividades para instalar en la clase el problema de la doble causalidad biológica. Por ejemplo, podría usarse, como "disparador", una cuestión como la siguiente: "Actualmente, nuestra tendencia a comer grasas y azúcares nos trae numerosos problemas de salud (obesidad, diabetes, etc.). Algunas personas dicen que nos gustan tantos los dulces y las grasas porque estos alimentos producen un estímulo en los centros del placer del cerebro, mientras que otros creen que tenemos esta afición porque, durante nuestra evolución como cazadores recolectores, esta tendencia resultó beneficiosa, ya que nos ayudaba a consumir un tipo de nutrientes ricos en energía y escasos. ¿Cuál de las dos explicaciones te parece más adecuada?". La primera explicación hace referencia a las causas próximas, mientras que la segunda la hace a las causas últimas, y ambas explicaciones son complementarias. Problemas como este nos pueden servir para introducir la idea de que los fenómenos biológicos requieren dos tipos de explicaciones. A fin de indagar sobre las causas últimas de nuestros problemas de salud, consúltese Campillo Álvarez (2004), Nesse y Williams (2000), y Shubin (2009).

4. ¿CÓMO ENSEÑAR CIENCIAS?

por Elsa Meinardi

En el año 2005 apareció publicada una entrevista[1] realizada a la señora Jing Wei, funcionaria del Ministerio de Educación de China que se encontraba de visita en la Argentina. Reproducimos algunos pasajes:

- ¿Cuál es el mayor defecto de la educación en China?
- Tenemos un serio problema: no somos innovadores en educación. Nuestros alumnos tienen serias dificultades para pensar por sí mismos, son dóciles, siguen fácilmente las indicaciones que les dan otros.
- ¿Cuál cree que es la causa?
- La responsabilidad está en la pedagogía que se aplicó en este país durante años; el centro de la enseñanza fueron los docentes y no los alumnos.

El sistema educativo de China cuenta con 261 millones de alumnos y 15 millones de docentes.

[1] "El funcionamiento del sistema educativo más grande del mundo", diario *Clarín*, Buenos Aires, 23/10/2005.

Lo que aquí se subraya es que la educación tradicional no puede dar cuenta de la formación de personas creativas, con posibilidades de innovar, de hacerse preguntas nuevas, de planificar, de plantearse problemas y posibles alternativas de solución y, además, capaces de trabajar colaborativamente en un equipo.

En otros párrafos se interroga a la funcionaria acerca del comportamiento de los estudiantes chinos, concretamente si tienen problemas de disciplina (podemos imaginar por un momento cómo sería este sistema educativo si tan solo la mitad de los estudiantes fueran indisciplinados). La respuesta fue negativa: los estudiantes son dóciles en más de un sentido.

En un capítulo anterior señalamos que la educación científica debe servir para conocer conceptos, pero fundamentalmente para comprenderlos y saber utilizarlos, con el fin de dar explicaciones del mundo próximas a las explicaciones científicas, resolver problemas, comprender un discurso científico y saber diferenciar cuáles son argumentos de calidad y cuáles no. Si acordamos con dichos objetivos, tenemos que reconocer que la enseñanza tradicional -como señala la señora Jing Wei-, de tipo expositiva, que no contempla los conocimientos y las capacidades de los estudiantes, no basta.

Si creemos que ha funcionado hasta ahora y no hay motivo para cambiarla, conviene pensar en la cada vez más pequeña cantidad de estudiantes que eligen carreras científicas, en los jóvenes que desertan muchas veces por las dificultades que estas materias involucran o por lo lejana que parece para sus vidas la "carrera de científico", para darse cuenta de que algunos pocos han logrado aprender "a pesar" de estas formas tradicionales de enseñar.

ENSEÑAR Y APRENDER: DOS PROCESOS DISTINTOS

Una denominación errónea, aún bastante difundida en educación, es la que da lugar a la unión de los términos enseñanza/aprendizaje. Aunque enseñanza y aprendizaje guardan estrecha relación, no podemos pensar ambas cosas como entidad indivisible (Jiménez Aleixandre, 2003).

Vale la pena una breve referencia al tema, dado que esta denominación es producto de un programa de investigación que se desarrolló durante muchos años y que aún sobrevuela el ámbito educativo: se trata nada menos que del conductismo.[2]

La concepción central de este programa -amentalista, ambientalista y empirista- es que solo se puede concebir que haya enseñanza cuando se produce el aprendizaje. Para comprender la idea podemos pensar en el adiestramiento de un perro: decimos que le enseñamos cuando el animal aprende a comportarse según lo esperado; por ejemplo, cuando oye la palabra "alto", el animal se detiene. Hasta que no responde apropiadamente al estímulo, pensamos que no le enseñamos.

La relación que establecemos habitualmente es que si hay enseñanza hay -o debería haber- aprendizaje; sin embargo, bajo esta concepción la relación se invierte: solo hay enseñanza cuando se produce el aprendizaje esperado. Este aprendizaje es definido como un cambio en la conducta del aprendiz[3] y, dado que los modelos conductistas asumen una perspectiva epistemológica empirista, dicho cambio de conducta debe ser observable (la observación es considerada objetiva) y cuantificable. Así, se considera que ambos procesos son en realidad uno solo (o por lo menos son inseparables). De allí la frecuente denominación de "proceso de enseñanza-aprendizaje".

Postulamos que la expresión es incorrecta, y que de ninguna manera se puede hablar de "un" proceso. Son al menos dos y su relación es bastante más compleja que la que estos modelos expresan.

El conductismo considera que los aprendices llegan a la situación de aprendizaje con su mente en blanco, no tienen conocimientos previos. Y, en relación con la enseñanza, se deriva que el error debe evitarse (o desoírse para evitar su "refuerzo") que el docente debe enseñar

[2] Para una revisión del tema puede leerse *Teorías cognitivas del aprendizaje*, de J. I. Pozo (1997). Un dato curioso es que en la difundida serie *Los Simpson* aparecen los nombres de dos famosos conductistas: Skinner, el director de la escuela, y el vecino Flanders, cuyo comportamiento de adulto se debe a un condicionamiento al que fue sometido cuando era un niño "malo".

[3] El programa sostiene la equipotencialidad de estímulos, especies e individuos; por lo tanto, todas las consideraciones de aprendizaje son igualmente válidas: para una paloma, una rata o un niño.

a través de pasos cortos (para que un conocimiento no se solape con otro) y las respuestas positivas deben reforzarse –términos como *reforzar* los aprendizajes son propios de este marco–, en lo posible, inmediatamente.

Si bien se puede enseñar sin que haya aprendizaje (no todos las personas son iguales), no podemos dejar de reconocer la vinculación estrecha entre los modelos de aprendizaje y los de enseñanza. Toda propuesta de enseñanza está relacionada de manera implícita o explícita con una concepción acerca del aprendizaje, como ya señalamos en otro capítulo. Esta relación es muy evidente cuando se estudian las herramientas de enseñanza del programa conductista, fundamentalmente las máquinas de enseñar; una herramienta que tiende a la repetición de términos para su "fijación en la memoria".

La enseñanza programada se basa en la consideración de que el aprendizaje se produce por condicionamiento (asociación y refuerzo). Por lo tanto, la estrategia cognitiva que se prioriza es la memorización. Sin ignorar la importancia de "recordar" hechos y datos, la memorización nunca puede ir más allá; jamás podrá dar cuenta de los complejos procesos involucrados en la comprensión.

La taxonomía por objetivos de la educación confeccionada por Bloom da cuenta de esta perspectiva conductista llevada a la escuela. El término "objetivo" en la educación no es casual. Es una meta a cumplir, pero al mismo tiempo es una meta objetivable. La enseñanza por objetivos (metas objetivables) fue el modelo imperante en la educación de muchos países durante demasiadas décadas.

En una enseñanza tradicional conductista, se considera que los estudiantes:

- "Incorporan" la información que da el docente. Los aprendices son receptores pasivos de información.
- Realizan actividades manuales que "reproducen lo que hacen los científicos". Los estudiantes son reproductores de prácticas.

Además, ambos procesos no tienen conexión: la información teórica *se da* en el aula y los trabajos prácticos sirven para practicar la *manipulación* de materiales en el laboratorio.

Como señalamos en el capítulo anterior, la posición empirista,[4] en consonancia con las concepciones racionalistas, enfatiza el acatamiento a las "verdades" científicas establecidas objetivamente.

En educación la influencia de esta perspectiva se manifestó a través de una caracterización ingenua de la actividad científica (Hodson, 1988), configurando una perspectiva que puede ser descripta sobre la base de las siguientes categorías (Ryan y Aikenhead, 1992; Hodson 1985, 1988): el conocimiento científico se produce por acumulación de conocimientos, es reflejo de las cosas tal como ellas son (realismo ingenuo) y procede mediante la aplicación de un procedimiento algorítmico simple (el método científico) a través de la observación neutra de los fenómenos (empirismo ingenuo) y la experimentación, que hace posible la verificación concluyente de hipótesis (adaptado de Cutrera, 2004).

Una traducción sencilla sería: podemos conocer el mundo mediante la observación objetiva, la ciencia se construye de manera acumulativa (ladrillo a ladrillo) con el método científico, y los experimentos, sin mediación, demuestran las hipótesis. Es una idea común pero falsa –como mencionamos en el capítulo anterior– la de que la ciencia avanza por "acumulación de hechos experimentales y extrayendo una teoría de ellos" (Jacob, citado por Ruiz y Ayala, 1998). Este concepto erróneo está basado en la muy repetida aseveración de que la ciencia es inductiva, noción que se remonta al ensayista y estadista inglés Francis Bacon. La inducción fue propuesta por Bacon y Mill como un método para lograr la *objetividad* y así evitar las preconcepciones subjetivas, y para obtener conocimiento *empírico*; sin embargo, el método inductivo no logra explicar el proceso real de la ciencia (Ruiz y Ayala, *op. cit.*: 14).

El énfasis puesto durante mucho tiempo en la experimentación, en el trabajo experimental como base para el aprendizaje de las ciencias naturales en la escuela, responde a un intento de dar cuenta de esta concepción acerca de cómo se construye la ciencia. "Hacer ciencia es hacer experimentos" podría ser la síntesis de este erróneo punto de vista.

Los autores de este libro sostenemos una concepción completamente distinta.

---

[4] Véase empirismo o positivismo lógico en "La imagen popular sobre la ciencia", capítulo 3, pág. 65.

¿De qué modelo de aprendizaje dan cuenta las propuestas de enseñanza explicitadas en este libro? ¿Qué aprendizajes intentamos favorecer? ¿Qué relación existe entre estos aprendizajes y el aprendizaje de las ciencias naturales? ¿Y cuál es el vínculo entre estos aprendizajes cognitivos y la construcción de las ciencias naturales?

Los modelos de aprendizaje que sostenemos son, ante todo, mentalistas. Pero, aun dentro de aquellos modelos que proponen que la mente es una variable relevante para comprender los procesos de aprendizaje, existen muchas tendencias, con los innatistas en un extremo y los constructivistas en el otro, pasando por una gama bastante extensa entre ambos. Diremos entonces que nos inclinamos por los modelos que consideran en el centro del problema la perspectiva de la construcción de la comprensión, una evolución y un desarrollo de la comprensión de fenómenos y hechos favorecida por los procesos de enseñanza.

CONCEPCIONES EPISTEMOLÓGICAS E IMPLICACIONES EN LA ENSEÑANZA

Según Bachelard[5] el conocimiento es el producto de la actividad del sujeto y no consiste en una simple reproducción del mundo de las cosas. De allí nace su preocupación por determinar cuáles son las condiciones que favorecen la conformación de un espíritu constructor de conocimiento científico. Entre estas condiciones, se interesa muy particularmente por la educación.

> Bachelard opone la noción de construcción a la idea, corriente a fines del siglo XIX, de que existe una unidad de la experiencia, del conocimiento de lo real. Esta idea se encontraba en los empiristas porque afirmaba que todo conocimiento viene de la sensación, y en los idealistas porque sostenían que la experiencia es impermeable a la

[5] Gaston Bachelard (1884-1962). Francés. Licenciado en matemática, fue profesor de física y química. Filósofo y epistemólogo, dedicó parte importante de su trabajo a la historia y la filosofía de las ciencias.

razón. [...]. La influencia significativa del positivismo en el campo de las ciencias naturales acentuó uno de los polos de esta concepción. Las dimensiones cuantitativas primaron como fundamento y prueba, y también sirvieron para acentuar la continuidad entre el conocimiento común y el conocimiento científico. [...]. La observación natural de lo natural proveía de datos para el conocimiento (Camilloni, 2002).

Existe una concepción de ciencia y de hacer pedagógico centrado en lo concreto. "Ver para comprender era el principio ideal de esta extraña pedagogía", escribe Bachelard (1989, citado en Camilloni, *op. cit.*). Por el contrario, propone que no existe continuidad entre el conocimiento común y el científico; se aprende en contra del sentido común.

La ciencia de la comunidad científica y la ciencia enseñada –*y aprendida*– en el aula[6] no son idénticas. La ciencia enseñada es producto de la reelaboración del conocimiento de los expertos y no debe confundirse con una simplificación, sino que es la construcción de un nuevo modelo que incluye distintos conceptos, lenguajes, analogías e incluso experimentos (Sanmartí, 2000; Jiménez Aleixandre, 2003: 26). Chevallard ha llamado a este proceso *transposición didáctica*,[7] y lo ha definido como el trabajo que transforma un objeto de saber a enseñar en un objeto de enseñanza (Chevallard, 1997: 44). El conocimiento que maneja la comunidad científica también sufre transposiciones; los expertos escriben para sus pares, y se ha mostrado que allí ocurre el primer nivel de la transposición didáctica (Bonan, 2007). Esta transposición es un elemento clave del denominado "conocimiento didáctico del contenido", al cual nos hemos referido en el capítulo 2.

¿Qué relación hay entre practicar el trabajo científico en la escuela y lo que en otros momentos se han denominado los métodos de trabajo de la ciencia? Ambas cosas están relacionadas, ya que la mejor

[6] Denominada por algunos autores *ciencia escolar*.
[7] Muchas veces se usa la expresión "bajar los contenidos" cuando se hace referencia a esta transposición, es decir, a adecuar los contenidos científicos a un público escolar o no experto. Sugerimos revisar dicha expresión por la connotación descalificante que puede implicar.

forma de familiarizarse con unos métodos de trabajo es practicarlos. Las diferencias radican en que hoy la forma de abordar estas cuestiones en clase es más global y, cuando se diseñan actividades que pretenden una inmersión en el trabajo científico, el punto de partida es un problema auténtico que los estudiantes puedan resolver.

Para desarrollar las destrezas experimentales no basta con incluirlas entre los objetivos, pues no se aprende a interpretar muestras con un microscopio, a utilizar adecuadamente el termómetro, a identificar plantas con claves o a comprender un corte geológico sin dedicar tiempo a la práctica. Si una definición de los procedimientos es una secuencia de acciones orientadas a la consecución de una meta (Pro Bueno, 1995), estas acciones no son innatas ni surgen por casualidad: hay que aprenderlas (Jiménez Aleixandre, 2003: 28).

En efecto, de la forma en que se caracteriza la ciencia y de la metodología de investigación se pueden extraer consecuencias sobre su enseñanza. Las que mencionamos están en acuerdo con lo que, en general, se acepta entre la comunidad de expertos (basado en Hodson, 1988).

Características de la investigación científica

- El método de la ciencia no es único.
- La observación de hechos y fenómenos depende de la teoría puesta en juego.
- Las teorías tienen un valor predictivo.
- El conocimiento científico es contextualizado, social e históricamente.
- El trabajo científico pasa por una fase de comunicación, análisis crítico, comprobación y consenso.
- La ciencia no es neutral, objetiva ni infalible.

Consecuencias que se derivan sobre su enseñanza

Para una apropiación adecuada de los modelos y formas de producción del conocimiento científico, se deberá procurar la realización de:

- Puesta en práctica de metodologías múltiples, para lo cual se deben elaborar diseños experimentales, planteo de problemas, exploraciones, anticipaciones, entre otras.
- Explicitación de los saberes previos que orientarán la observación de hechos.
- Trabajos grupales que permitan la construcción de conocimientos compartidos, mediante el intercambio, la confrontación y el consenso.
- Inclusión de la historia y de la sociología de la ciencia.
- Anticipación de los resultados esperados en una experiencia.
- Registro y difusión de las hipótesis, la experimentación y los resultados, por medio de los lenguajes oral y escrito apropiados.
- Enseñanza no neutral, objetiva ni infalible.
- Consideración de los errores para la generación de nuevas hipótesis.

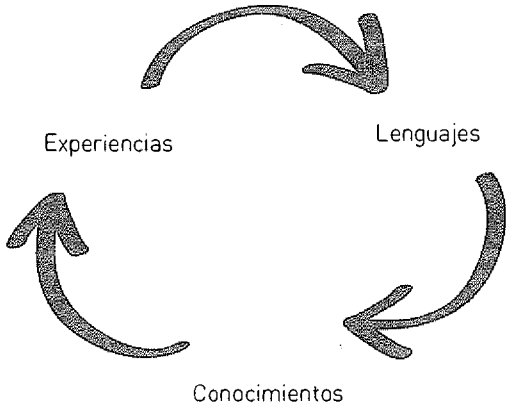
Si intentamos que nuestros alumnos aprendan ciencia en la escuela, debemos plantearnos qué es la ciencia, como proceso y como producto. Qué conceptos, qué formas de razonar, qué maneras de ver el mundo, cómo se hace ciencia, de qué da cuenta la ciencia, cuáles son los modos de proceder, de saber y de cuestionar en ciencias. Evidentemente, es algo más que aprender a hacer manipulaciones motoras mezclando líquidos que nunca son de colores.

DIMENSIONES DE LA COGNICIÓN

La educación científica significa relacionarse con el mundo y esto supone modos de pensar, de hacer y de hablar, pero sobre todo la capacidad de unir todos estos aspectos. Es preciso estar dispuestos a cuestionar continuamente nuestra relación (de interpretación, discurso e intervención) con las personas y los hechos (Arcà, Guidoni y Mazzoli, 1990).

Llamaremos *conocimiento* a los saberes respecto de conceptos, hechos, imágenes y modelos que poseemos en nuestra estructura cognitiva. Denominamos *experiencia* a la capacidad de realizar *procedimientos motores*, como pipetear, pesar una sustancia, enfocar una

muestra en el microscopio, entre otras, y al mismo tiempo a la posibilidad de llevar a cabo *procedimientos cognitivos*, como relacionar, comparar, sintetizar, calcular una cantidad, operar con proporciones, resolver un problema, interpretar un gráfico, resumir, elaborar hipótesis, etc. El *lenguaje* implica los modos de representar según esquemas (palabras, dibujos o imágenes).



De este círculo no se puede salir: no es posible desmontarlo. El proceso cognitivo es analizable según estos tres términos y puede interpretarse como una dialéctica cíclica desarrollada entre ellos, los cuales siempre se corresponden de algún modo, pero también siempre de manera compleja. En cualquier nivel existen unos "lenguajes", hay un plano de "experiencias" y hay cosas que se saben decir y a las que no se consigue identificar con experiencias. Vemos entonces que hay *experiencias*, hay *modos de hablar*, hay cosas de las que se puede hablar, y hay *conocimientos*. Este conocimiento se desprende de la experiencia y la reconstruye, a través de un lenguaje (modelo propuesto por Arcà y col., *op. cit.*).

Si bien está claro que los tres saberes no se pueden separar, podría ocurrir que una persona supiera hacer un procedimiento manual utilizado por los científicos: por ejemplo, enfocar un preparado en un microscopio, o producir la preparación para ser vista a través del microscopio, como lo hace un técnico en microscopía, pero no saber qué está mirando. Por el contrario, se puede conocer (o saber en un sentido más limitado) la teoría de cómo funciona un microscopio sin

saber manipularlo. También puede ocurrir que se conozca un tema, por ejemplo la teoría de la luz en el microscopio, y saber hacer manipulaciones técnicas para la observación a través de él, pero no poder comunicar cómo se hace. La línea divisoria, como mencionamos, no es tan clara, ya que en términos cognitivos podemos afirmar que no se conoce completamente un tema si no se lo puede comunicar, o bien hacer en ciencia implica no solo procedimientos motores como la manipulación sino también procedimientos cognitivos, muchos de ellos involucrados con "conocer" y "comunicar". Por ejemplo, cuando argumentamos en ciencia, hablamos y escribimos ("comunicamos"), es decir, hacemos procedimientos relacionados con las habilidades cognitivo-lingüísticas.

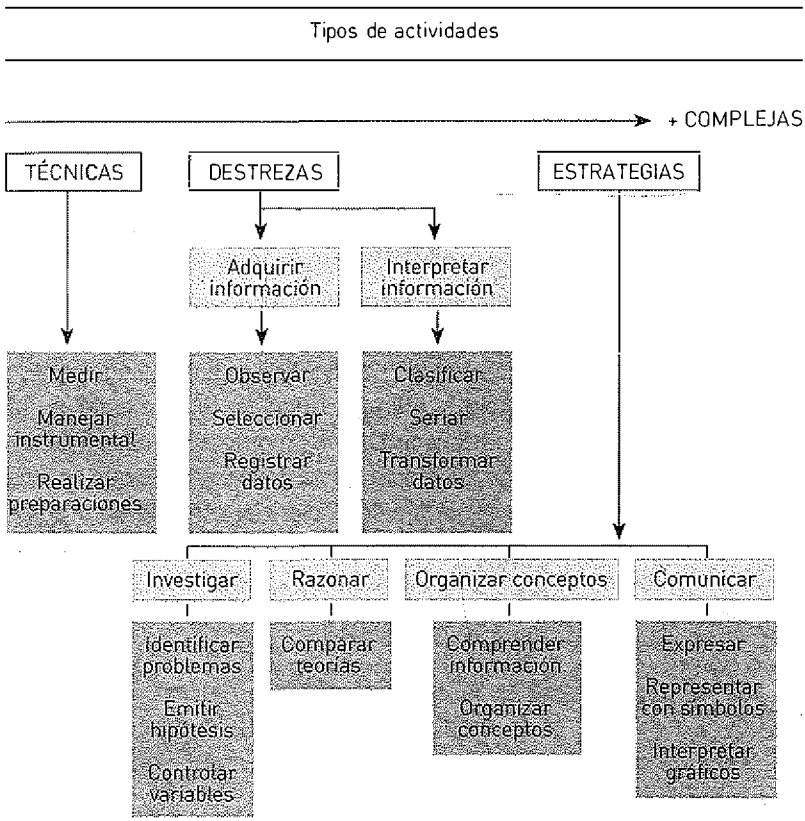
La enseñanza actual acentúa la importancia de fundamentar en la conceptualización teórica los conocimientos empíricos y tener en cuenta las expectativas y los grados de conciencia de los sujetos que aprenden (Camilloni, 2002). El aprendizaje de la ciencia, sobre la naturaleza de la ciencia y la práctica de la ciencia son orientaciones de la misma actividad constructiva, reflexiva e interactiva (Hodson, 1994).

HACER CIENCIA

El término *procedimiento* se emplea con diversos usos: estrategias, destrezas, procesos y técnicas. Los procedimientos pueden ser muy diversos, y su complejidad, variable.

El cuadro de la página siguiente muestra ejemplos de distintos tipos de actividades o procedimientos (Jiménez Aleixandre, 2003).

Según esta clasificación, las técnicas implican poca complejidad cognitiva, son fundamentalmente actividades motrices que no requieren un manejo conceptual profundo del proceso. Las destrezas incluyen actividades de mayor complejidad cognitiva, siendo aún mayor en el caso de las estrategias. Muchas veces pensamos que la actividad práctica o "de laboratorio" debe estar al servicio de pesar, medir, cuantificar. Los estudiantes van al laboratorio a aprender a enrasar, pesar, estirar vidrio, hacer un cultivo de bacterias, enfocar y mirar a través de un microscopio, poner plantas a la luz o a la oscuridad, extraer pigmentos vegetales, medir la constante del péndulo, determinar el tiempo de caída de un



cuerpo, clasificar insectos, dibujar rocas, reconocer y determinar fósiles, entre otras muchas actividades. Sin embargo, consideramos que de ninguna manera esto constituye en sí mismo una inmersión en el trabajo científico. Para eso se debe crear situaciones en que los estudiantes resuelvan problemas, participen de actividades diseñadas para que los enfrenten utilizando estrategias científicas. Se debe superar la exclusiva utilización de actividades prácticas demostrativas o ilustrativas, con la introducción de tareas de indagación que acerquen a los estudiantes al verdadero trabajo científico. La práctica de la ciencia es una actividad reflexiva, en la cual se apela a técnicas, destrezas y estrategias al servicio de responder una pregunta. Si la pregunta nunca es planteada, si los objetivos no son explícitos, si los estudiantes no entienden de qué mane-

ra el dato que obtendrán contribuirá a arrojar luz sobre una pregunta, no podemos decir que están participando del trabajo científico.

IR AL LABORATORIO PUEDE SER INÚTIL

Entre los argumentos a favor del trabajo práctico como medio para desarrollar las destrezas de laboratorio figuran los relacionados con la adquisición de habilidades sin contenido, que luego se pueden transferir a otras áreas de estudio y son válidas para todos los alumnos a fin de enfrentarse con los problemas cotidianos que se dan fuera del laboratorio. Sin embargo, las técnicas o destrezas de laboratorio tienen poco valor en sí mismas y deberían ser consideradas un medio para alcanzar un fin. No se trata de que el trabajo práctico sea necesario para que los alumnos adquieran ciertas técnicas de laboratorio, sino de que estas habilidades particulares son necesarias si queremos que los estudiantes participen con éxito en el trabajo práctico (Hodson, 1994: 301). Esto nos conduce a ser más críticos sobre *cuáles* deben ser las habilidades que se enseñan. Las técnicas de laboratorio deben permitir realizar otras actividades de aprendizaje útiles, más centradas en procesos cognitivos que en destrezas manuales, y siempre que la dificultad o la carencia de habilidades no constituya una barrera adicional.

Los datos empíricos con respecto a la eficacia del trabajo práctico como medio para adquirir conocimientos científicos son difíciles de interpretar y poco concluyentes. Si reflexionamos acerca de esta cuestión, llegaremos a la conclusión de que no se puede afirmar que el trabajo práctico sea superior a otros métodos y, en ocasiones, parece ser *menos útil*. Hace unos años, un estudio norteamericano sobre tres maneras de enseñar biología (clase/discusión; trabajo de laboratorio/discusión; clase/demostración de profesor/discusión) reveló que el trabajo práctico mostraba ventajas significativas sobre otros métodos únicamente respecto al desarrollo de las técnicas de laboratorio. No se registraron diferencias significativas en lo referente a conceptos adquiridos, comprensión de la metodología científica o motivación. En otras palabras: la única ventaja del trabajo práctico es conseguir ciertos objetivos de aprendizaje que los otros métodos ni siquiera se plantean. En un estudio sobre clases prácticas de

física se encontró que los estudiantes frecuentemente llevan a cabo ejercicios en clase teniendo muy poca idea de lo que están haciendo, sin comprender el objetivo del experimento[8] o las razones que han llevado a escoger tal o cuál práctica, y con escaso entendimiento de los conceptos subyacentes. Parece que estén haciendo poco más que "seguir unas recetas". En el mejor de los casos, estas actividades son una pérdida de tiempo. Y lo más probable es que causen confusión y resulten contraproducentes.

Igualmente decepcionantes son los resultados aportados por la investigación sobre el conocimiento de los alumnos acerca de la naturaleza de la investigación científica: es frecuente que el trabajo práctico individual se revele contraproducente y dé lugar a una comprensión incoherente y distorsionada de la metodología científica.

Al fomentar el valor de la experiencia directa y los planes de estudio orientados a la investigación, al enfatizar el valor que sobre la motivación entraña el descubrimiento conseguido por uno mismo y al emplear términos como *observación*, *experimento* e *investigación*, se creó un modelo de aprendizaje que parecía encajar perfectamente en los puntos de vista inductivistas tradicionales del método científico (Hodson, *op. cit.*: 302).

Las prácticas de laboratorio son consideradas por los profesores como un medio para obtener información/datos sobre hechos de los que más tarde se extraerán las conclusiones. Por lo general, se ha asumido que estos datos son "puros" y no están afectados por las ideas que tienen los estudiantes; por lo tanto, estos no suelen participar ni en el diseño ni en la planificación de investigaciones experimentales. El fracaso a la hora de hacer que los estudiantes participen en la reflexión que precede a una investigación experimental convierte gran parte de la práctica de laboratorio siguiente en un trabajo inútil desde el punto de vista pedagógico. Un estudiante que carezca de la comprensión teórica apropiada no sabrá dónde o cómo mirar para efectuar las observaciones adecuadas a la tarea en cuestión, o no sabrá cómo interpretar lo que vea. Por consiguiente, la actividad resultará improductiva, lo cual incitará a los profesores a dar las "respuestas".

[8] Los términos "trabajo de laboratorio", "trabajo práctico" y "experimentos" son empleados en general como sinónimos. Sin embargo, no todo el "trabajo práctico" se realiza en un laboratorio, y no todo el "trabajo de laboratorio" es experimental (Hodson, 1988).

El resultado es que pueden pasarse toda la lección sin comprender correctamente el objetivo del experimento, el procedimiento y los hallazgos, mezclándolos con cualquier concepto erróneo que hayan aportado a la práctica. Naturalmente, tan pronto como se hace evidente que los marcos alternativos de comprensión de los estudiantes van a acabar por hacerles terminar en otro punto diferente, los profesores les hacen saber que su resultado es equivocado, o que han hecho el experimento mal, lo que inculca en el estudiante una preocupación por lo que se suponía que debía suceder, más que por su percepción de lo que ha sucedido (Wellington, 1981; citado por Hodson).

Los científicos no mezclan líquidos de colores, hacen experimentos en el laboratorio, registran datos en el campo o miran el cielo para tratar de responder preguntas. Si nuestras prácticas de laboratorio o trabajos experimentales siguen recetas, si no se ponen al servicio de una demanda cognitiva, las actividades no están dando cuenta de lo que hacen los científicos. Podrán ser usadas con el intento de "cambiar de aire", salir del aula, interesar a los estudiantes, enseñar las técnicas del laboratorio o cualquier otra razón que le resulte útil al docente, pero no debemos engañarnos: hacer ciencia no es eso.

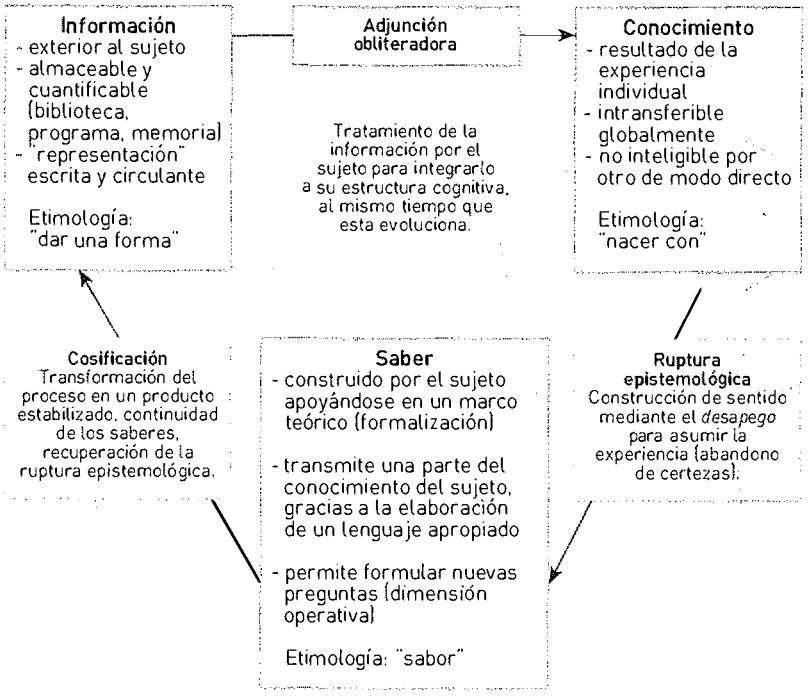
En la docencia universitaria muchas veces ocurre algo similar: se enseña a seguir protocolos, a medir proteínas, a calibrar un equipo, a pipetear soluciones, a determinar el punto de fusión de una sustancia, a realizar una corrida electroforética. Sin embargo, son pocas las oportunidades en que se discuten los resultados de estas técnicas en el contexto de un trabajo de investigación; es decir, qué respuesta se desprende del dato obtenido. O, invirtiendo el razonamiento, cuál es la pregunta sobre la que arroja luz la cantidad de proteínas de una muestra, cuál es el problema que se intenta resolver.

CÓMO FAVORECER LOS PROCEDIMIENTOS COGNITIVOS DE LOS ESTUDIANTES

Como han señalado muchos investigadores, el conocimiento de las personas permanece, en muchos casos, confinado a las condiciones particulares de la situación escolar. Esto implica que el conocimiento

no tiene un carácter vivo, transferible a otros contextos. Sin embargo, la expectativa que siempre se señala es hacerlo funcionar; esto no significa que deban presentar una utilidad de orden práctico, sino que funcionen como herramientas intelectuales disponibles (Astolfi, 1997). El saber escolar se encarna en una sucesión de enunciados cuya dimensión lógica es satisfactoria, pero que permanecen inconexos desde el punto de vista de la construcción del sentido y de los problemas cuya resolución deberían hacer posible (Delbos y Jorion, 1984).

En este punto, conviene detenerse en una distinción entre información, conocimiento y saber, y los procesos por los que se vinculan, los cuales pueden verse resumidos en el siguiente esquema (adaptado de Astolfi, 1997).



Estos sucesivos pasajes entre información, conocimiento y saber no operan de la misma forma en el novato que en el experto.

Cuando un profesor *da clase*, comunica una información –la cual integra el marco conceptual de una disciplina– que se ha transformado en conocimiento organizado de una manera particular en su propia estructura cognitiva. Así, al mencionar el término "fuerza", por ejemplo, probablemente esté remitiendo a su conjunto de conocimientos –idiosincrásico– y saberes estructurados, relacionados y funcionales. Sin embargo, para el alumno o novato es acogida dentro de una estructura cognitiva muy distinta, con lo cual se produce –en el mejor de los casos– una nueva traducción. Cuando el docente menciona, por ejemplo, el término *fuerza*, se ha visto que en la estructura cognitiva de los estudiantes remite a muchos marcos bien distintos: fuerza, River (o Boca), fuerza aérea, fuerza armada, la fuerza del destino, fuerza física, fuerza de la naturaleza, fuerza bruta, fuerza de la gravedad...

Por otro lado, el saber resulta de un proceso importante de objetivación. Esto significa que es el producto de una construcción intelectual y que, para alcanzarlo, el individuo debe elaborar un marco teórico, un modelo, una formalización, la que permitirá una nueva mirada sobre el mundo. Se trata de un proceso altamente socializado, y en cierto modo cada uno debe rehacer ese camino de manera personal. Cuando el docente –el experto– comenta los resultados de investigaciones, para él están relacionados con debates teóricos precisos. No percibe que los estudiantes los reciben como simples informaciones para ser memorizadas mecánicamente. De manera que permanecen frente a frente, por una parte el conocimiento global que resulta del pensamiento común de los alumnos y, por otra, las informaciones fácticas que prácticamente no influyen en él. En el fondo, los alumnos casi no tienen una experiencia verdadera de lo que es una disciplina. Rara vez esta se identifica con un tipo de interrogante, con una problemática particular. Pero se sabe bien que no son los objetos los que definen una disciplina, sino los interrogantes que ella se plantea.[9] Pasar del conocimiento al saber implicará abandonar la comodidad de la certidumbre, de librarse de la experiencia anterior. En el modo

[9] Ya que un mismo objeto puede ser materia de estudio de disciplinas distintas (se podría discutir entonces si se trata efectivamente del mismo objeto).

del pensamiento común el intelecto dispone de respuestas globales e intuitivas a sus interrogantes, respuestas que se reconfortan mutuamente y detienen toda interrogación. Sin embargo, el saber comienza cuando una pregunta puede ser planteada donde antes reinaba la evidencia. Para comprender hay que renunciar a lo que se cree saber (Astolfi, *op. cit.*). Este camino al aprendizaje científico es doloroso porque implica la pérdida de aquello que ya se sabe (Bachelard, 1989).

RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

En la década de 1960, los docentes de la carrera de Medicina en la Universidad de Ontario (Canadá) notaron que el aprendizaje que mostraban los alumnos en las pruebas sobre conocimientos teóricos no se correspondía necesariamente con su capacidad para aplicarlos. El rendimiento en la evaluación de contenidos no resultaba un buen indicador de la aptitud de los estudiantes para transferir sus conocimientos al desempeño profesional, en este caso el diagnóstico de los pacientes.

Este descubrimiento resultó un motivador importante en la búsqueda de nuevas formas de enseñar en la universidad, y significó el puntapié inicial para una línea que ha desembocado en lo que pasó a denominarse "aprendizaje basado en problemas" (ABP). Para la década de 1980, se creó un programa especial en la Facultad de Medicina de la Universidad de Harvard con un currículo centrado en el ABP y diez años después comenzó a extenderse a otras universidades de distintos países.

En relación con la enseñanza de las ciencias en las escuelas comienza el trabajo con el tratamiento didáctico de la resolución de problemas en matemática y, para las décadas del setenta y ochenta, se investiga la resolución de problemas en física y química. El ABP es actualmente una de las líneas de investigación más fructíferas en la enseñanza de las ciencias naturales y también se aplica en la escuela media.

Al analizar los aprendizajes que muchas veces se logran a partir de una enseñanza meramente expositiva por parte del docente, se observa que no es necesario que los estudiantes entiendan un tema o concepto para resolver los problemas que se les plantean. Resolver

problemas tradicionales -que podrían considerarse ejercicios y no problemas- puede reforzar actitudes superficiales en los estudiantes y disuadirlos de querer comprender. La forma en que los estudiantes encaran las cuestiones por resolver es reforzada por años de aprendizaje ritualizado, memorización y exposición. Sumado a esto, las prácticas de evaluación tradicionales muchas veces no miden la comprensión de un tema por parte de los estudiantes.

Para que los ejercicios de resolución mecánica o algorítmica se transformen en verdaderos problemas para los estudiantes se ha propuesto el trabajo con problemas en los cuales la situación es lo suficientemente compleja para sustentar múltiples enfoques y generar diversas soluciones (no necesariamente todas correctas, ya que lo que más importa es el proceso cognitivo que llevó al estudiante a producir esa respuesta). Luego, se podrán proponer caminos, para poner a prueba la respuesta dada, que permitan un análisis cualitativo y que favorezcan la emisión de hipótesis, el diseño de las estrategias de resolución, la anticipación de los resultados o su posterior análisis, para lo cual se sugiere plantear el aprendizaje alrededor de tareas amplias y problemas relevantes, en los que se apoye el trabajo del alumno, promoviendo los grupos colaborativos, y que estimulen el uso de distintas fuentes de información (siempre accesibles a los estudiantes).

Además, se sugiere que el docente incorpore a la planificación de las clases las preguntas e ideas de los estudiantes (que muchas veces conocemos de antemano o bien damos lugar a que se expongan en las clases) y, sobre todo, que evalúe el aprendizaje de forma coherente con sus objetivos de enseñanza. En este sentido, la evaluación y la enseñanza se fusionan a favor del alumno, es decir, la evaluación contribuye con el propósito de apreciar que los alumnos hayan alcanzado las metas significativas que hemos definido al planificar la enseñanza. Esto es, evaluar en coherencia con nuestras intenciones educativas, para lo cual habrá que pensar que el rol de la evaluación no debe ser principalmente selectivo sino formativo. La evaluación es parte del proceso de enseñanza, regula la planificación de las clases y su desarrollo.

El ABP es un ejemplo de estrategia de enseñanza tendiente al trabajo activo y autónomo de los estudiantes. La capacidad para manejarse en un contexto con fuentes de información múltiples, la actitud de búsque-

da constante y de contrastar los datos, de llevar a cabo todo el proceso completo de actuación desde la planificación hasta la ejecución y evaluación de las intervenciones, forman parte de los "grandes aprendizajes" que nuestros estudiantes adquieren fundamentalmente a través de los métodos que hayamos utilizado en su educación (Zabalza, 2004).

La resolución de problemas puede ser usada con distintos fines didácticos, por ejemplo para determinar el aprendizaje de un tema, para indagar las ideas previas de los estudiantes, como movilizador en la motivación de los alumnos o como herramienta o medio para lograr el aprendizaje. También puede ser un instrumento de investigación educativa. Además, y siguiendo la idea que venimos desarrollando desde el comienzo de este capítulo, la resolución de un problema, la respuesta a una pregunta, debería ser el eje central de toda actividad de laboratorio o trabajo práctico.

¿Toda pregunta equivale a un problema?

El planteo de un problema tiene que permitir la emisión de una o varias hipótesis; además, dicha hipótesis tiene que poder ser pensada de manera experimental. ¿Cómo haríamos para poner a prueba las hipótesis que se formulan como respuesta al problema?

Si se aumenta la intensidad del fuego, ¿aumentará la temperatura del agua que está hirviendo? ¿El hielo del *freezer* enfría más rápido una bebida que el cubito de una heladera? ¿En todo momento, al principio también? ¿Con qué puedo enfriar más rápido una bebida, con un gran cubito de hielo o con el mismo cubito triturado? ¿Para qué y por qué se usa el "baño María"[10] en la cocción de los alimentos?

La respuesta no puede catalogarse de científica, sino el método para llegar a ella. De allí que un verdadero problema nunca puede ser respondido con *sí* o *no*. Algunos autores afirman que los problemas cerrados, de respuesta única, no son verdaderos problemas. Sin embargo, en nuestra experiencia hemos hallado que depende

[10] El "baño María" es uno de los más antiguos métodos alquimistas; se usa para mantener un sistema a una temperatura constante, ya que, mientras el agua hierve (cambio de fase líquido/vapor), se encuentra a 100° C (a presión atmosférica).

del mecanismo que se use para su resolución. Y eso lleva a considerar que una pregunta puede conducir a un alumno a una respuesta rápida mientras que para otro puede ser un verdadero problema. Por ejemplo, las preguntas que hemos formulado no constituyen verdaderos problemas para un químico, mientras que para un profano y para muchos alumnos de la escuela media sí lo serían.

Lo ideal es que, a lo largo de un trayecto escolar, los docentes puedan planificar la resolución de problemas cada vez más complejos. La dificultad de una actividad depende, entre otras cosas, del grado de conocimiento que poseemos para resolverla. Muchas de las actividades que planteamos a los alumnos suelen ser meros ejercicios para los docentes, como identificar un animal, calcular el tipo de descendencia de un cruzamiento, comparar los procesos de mitosis y meiosis, y relacionarlos con la gametogénesis y el ciclo de vida. Sin embargo, en la mayor parte de los casos, estas actividades constituyen verdaderos problemas para nuestros estudiantes, ya que están alejados de la posibilidad de resolverlas de manera inmediata.

Las condiciones de existencia de un problema son que se presenten:

a) Una cuestión por resolver: para lo cual debe el docente ser capaz de plantear problemas auténticos (no necesariamente reales), es decir, posibles y con significado para los estudiantes. Son muy eficaces las situaciones-problema que se organizan alrededor de la superación de un obstáculo (previamente identificado por el profesor). En ese caso los alumnos perciben la situación como un verdadero enigma que resolver.
b) Un alumno que comprenda el problema y lo pueda resolver, pero que la estrategia de resolución no sea inmediata. Para eso, el problema debe hallarse dentro de los marcos conocidos por los estudiantes, pero no lo suficientemente accesibles de manera directa.

Comprender la tarea significa, por un lado, dar sentido a la situación que se plantea, en relación con algún modelo teórico. La interpretación que se haga del problema depende de la información contenida en la estructura cognitiva de los estudiantes, y de la apor-

tada por el enunciado. Por otro lado, debe estar claro el contrato didáctico, es decir, cuáles son los objetivos de la tarea, si se espera que el estudiante aplique e integre conocimiento previo o si se requiere la adquisición y comprensión de nuevo conocimiento. O bien si el enunciado contiene toda la información necesaria para su resolución o el estudiante debe procurarse datos adicionales, por ejemplo.

DISTINTOS CRITERIOS PARA CLASIFICAR Y ANALIZAR LAS ACTIVIDADES

A continuación presentamos varias formas de clasificar las actividades que se proponen en la planificación de una clase. Cada clasificación es independiente de las demás, por lo que podemos hallar superposiciones; por ejemplo, una actividad puede ser cerrada y de nivel de indagación 2, como veremos. La presentación tiene como objetivo clarificar algunos términos, debido a que, justamente, muchas veces no se ve la superposición de clasificaciones que se construyen con criterios diferentes.

Según las posibles respuestas de los alumnos

- Cerradas: su respuesta está predefinida y tienen un único resultado posible. En general, las que aparecen en los libros de texto son actividades tradicionales que requieren una respuesta "correcta".
- Abiertas: no tienen una única respuesta posible, es decir, pueden recibir distintas soluciones. Dan lugar a la puesta en juego de diferentes estrategias cognitivas por parte de los estudiantes, así como a la concentración en los procesos más que en los resultados. Los problemas multicausales son ejemplos típicos.

Según las estrategias que se utilicen para su resolución

- Ejercicios: el sujeto que se enfrenta a ellos domina todos los conceptos y procedimientos necesarios para resolverlos. En

el caso más simple, son actividades que tienen una solución, la cual sabemos cómo encontrar. Por ejemplo, ¿cuánto dinero se necesita para pagar la comida que se consume en mi casa durante un mes? Aun si el cálculo puede resultar complicado, se puede hallar una estrategia para hacerlo; por ejemplo, anotando los gastos diarios. Es decir, se realiza una operación matemática, sea un simple cálculo o una serie de etapas en que se aplican diferentes fórmulas para llegar al resultado.

- Problemas propiamente dichos: requieren el conocimiento de conceptos y procesos y la construcción de estrategias de resolución. Los procedimientos cognitivos en su resolución suelen ser más complejos que los involucrados en los ejercicios.

Según los instrumentos materiales usados para su resolución

Este criterio suele aparecer en la bibliografía como *Según la forma de trabajo*; al ser poco claro, hemos preferido precisar un poco más el criterio.

- Actividades de lápiz y papel: no requieren instrumentos específicos.
- Actividades experimentales: requieren instrumentos especiales para su resolución, como microscopios, pipetas, medios de cultivo, etc.

Esta clasificación se utiliza cuando se intenta hacer una separación entre las actividades que normalmente se desarrollan dentro del aula y las que se llevan a cabo en un laboratorio. Sin embargo, vale la pena aclarar que un trabajo experimental puede requerir actividades de lápiz y papel (registro de datos, elaboración de conclusiones, redacción de un informe), y no necesariamente ocurre en el laboratorio, sumado a que no todo lo que se hace en el laboratorio debe ser considerado un experimento. En el ámbito educativo también es frecuente el uso de la denominación "trabajo práctico" para designar la actividad en el laboratorio, mientras que otras veces se emplea para referirse a las clases en las que se procura que los estudiantes apliquen los contenidos vertidos por el docente en una exposición

-vulgarmente llamadas clases teóricas- a la resolución de ejercicios de matemática o genética, por ejemplo. Con esto se intenta hacer notar que "trabajo práctico" no es una categoría claramente definida, ya que se le da diferentes significados según el contexto.

Según la metodología de intervención experimental

Generamos este criterio con el fin de dar cuenta de manera más exhaustiva de lo que suele denominarse -de modo poco claro y general- "actividad experimental".

En la investigación científica, la noción de experimento es muy discutida. Según el epistemólogo argentino Gustavo Caponi, un procedimiento experimental puede consistir tanto en la puesta a prueba de una hipótesis, como en una operación de medida o en la obtención de un dato respecto del modo de comportarse de algún aspecto de la realidad. En el primer caso hablaremos de un *experimento* en el sentido más estricto de la palabra; y, en el segundo, preferimos hablar de un simple "procedimiento experimental". Pero, en todos los casos, esos procedimientos podrán ser considerados "experimentales" y no puramente "observacionales" en la medida en que los mismos supongan la manipulación de algunas variables y sean realizados bajo lo que suele caracterizarse como "condiciones de aislamiento" (Caponi, 2003b).

Esta distinción traza una diferencia neta entre observación y experimentación. Sin embargo, este modo de presentar la diferencia puede inducirnos a cometer dos errores bastante comunes. Uno, el más obvio, es el de pensar que la clave de la cuestión estaría en el carácter puramente receptivo y ocasional de la observación. El otro, un poco más difícil de evitar, es el de homologar observación a una simple contemplación que, por definición, excluiría cualquier procedimiento, intervención o recurso técnico por parte del observador. Toda observación supone una intervención sobre lo observado. Una intervención real, empírica, técnica, y no meramente conceptual. Sin embargo, esa intervención, que puede implicar una modificación de algún aspecto o parte de nuestro objeto de estudio, no tiene por qué ser definida como "experimental". La misma no procura ninguna modificación de ciertas variables independientes sino que se orienta a hacer observables

fenómenos que de otra forma serían inobservables o inaccesibles. Que toda observación suponga una intervención no significa que no quepa mantener la diferencia entre observación y experimento. Las intervenciones experimentales son diferentes de las observacionales. Es necesario, por eso, no perder de vista la diferencia que existe entre las técnicas que usamos para poder observar o registrar un fenómeno y las técnicas que usamos para manipularlo experimentalmente. La disección de un organismo o el uso de técnicas electroforéticas para estimar la variabilidad genética de las poblaciones no pueden ser considerados experimentos (Brandon, 1996; Ayala, 1978). Solo hablaremos de *experimento* cuando deliberadamente modifiquemos algunas de esas condiciones para ver el efecto que esa modificación pueda tener o dejar de tener sobre cierto aspecto de ese comportamiento o de ese ciclo vital que estamos observando. Ni el naturalista de campo está excluido de la experimentación, ni el biólogo de laboratorio deja de hacer, en algunas oportunidades, *meras observaciones*. La jaula, el acuario, el invernadero, el cultivo experimental, el tubo de ensayo, o cualquier otro artificio con el que se puedan aislar los procesos biológicos, servirán como recursos para hacer visible aquello que ocurre en la naturaleza: el laboratorio se transforma en una ventana a la naturaleza. El experimento, en cambio, es otra cosa: es producir y variar condiciones para determinar el efecto que ese cambio produce sobre ciertos fenómenos (Caponi, *op. cit.*).

Es interesante no perder de vista la diferencia que existe entre las técnicas que se usan para poder observar o registrar un fenómeno y las técnicas empleadas para manipularlo experimentalmente (Caponi, *op. cit.*). De allí que la mera clasificación de actividades en las categorías "de lápiz y papel" y "experimentales" en la práctica no parece aportar herramientas para un análisis más profundo de los procedimentos cognitivos que se movilizan en sus posibles enfoques. Consideramos más útil clasificar las actividades de los estudiantes de una manera más acorde con las que se realizan cuando se llevan a cabo investigaciones científicas, esto es, actividades experimentales y observacionales. En educación, se suele simplificar esta complejidad denominando *trabajo experimental* al trabajo en el laboratorio. Es deseable que cuando se lleva adelante una propuesta de actividad, en cualquier nivel que se trabaje (medio o superior), pueda ser revisada

a la luz de estas consideraciones. Por ejemplo: a qué se denomina *experimento*, cuál es el valor de una metodología experimental, qué peso puede tener en una investigación la observación de fenómenos, cuánto aportan a la construcción de conocimiento los datos cualitativos, si es significativo o no para el aprendizaje de los estudiantes ponerlos frente a situaciones de simulación de experimentos, cómo se puede utilizar el diseño de un experimento -selección de variables relevantes, aislamiento del sistema en estudio, control de las condiciones, etc.- para favorecer los procesos cognitivos, cuándo aquello que se hace en el laboratorio es un experimento y en qué situaciones no lo es, cómo podemos transformar una metodología observacional en una experimental, si siempre es posible hacerlo, qué diferencias relevantes hay entre una y otra. Esto nos permitiría hacer del análisis de las actividades un verdadero problema.

Según el nivel de indagación

Algunos autores han diseñado una clasificación para evaluar el nivel de indagación que presentan las actividades propuestas a los estudiantes. Los niveles de indagación se establecen de acuerdo con quién propone cada etapa:

Nivel	Planteo del problema	Propuesta de desarrollo	Emisión de respuesta
0	Docente/libro	Docente/libro	Docente/libro
1	Docente/libro	Docente/libro	Estudiante
2	Docente/libro	Estudiante	Estudiante
3	Estudiante	Estudiante	Estudiante

Problema de nivel 0. En este tipo de actividades, el problema es definido por el docente, su desarrollo está pautado y su respuesta es única.

Problema de nivel 1. El docente define y propone el problema, su desarrollo también está definido, no hay múltiples modos de abordarlo excepto los particulares de cada estudiante, mientras que su respuesta es abierta. El tipo de respuesta que se produce dependerá

del grado de conocimiento del alumno: no se espera una respuesta única. Por ejemplo, cuando indagamos a los estudiantes acerca de cómo explican que la sangre "no vuelva atrás por las venas", o cómo creen que funciona una válvula venosa.

Problema de nivel 2. El docente escoge el problema, por ejemplo, estudio de posibles causas de la contaminación del aire en la ciudad. Los alumnos deben proponer la forma de abordarlo y su respuesta está abierta a investigación

Problema de nivel 3. El docente propone que los alumnos escojan un tema para trabajar, por ejemplo las relaciones entre ética y ciencia; sin embargo el problema o aspecto del tema debe ser definido por los estudiantes. Ellos deben elegir los materiales y el problema concreto que abordarán. Su forma de tratamiento dependerá del diseño que realicen los alumnos, que puede consistir en la búsqueda de materiales de divulgación, entrevistas personales, documentos de la comisión asesora de ética, etc.

Esta forma de clasificar las actividades resulta muy útil para revisar la planificación de las actividades a más largo plazo. Si la planificación de un año se encuentra completa o mayoritariamente centrada en el nivel 0, los estudiantes tienen muy poca autonomía de trabajo. Sería deseable llevarlos a niveles cada vez más altos de independencia en su trabajo, a lo largo del recorrido de una unidad didáctica o de un año escolar.

Una actividad de resolución de problemas puede ser cerrada o abierta, de lápiz y papel o experimental, fuera o dentro de un laboratorio; lo importante, lo que la define, no es tanto el tipo de actividad sino las estrategias cognitivas que promueve para su resolución.

PENSAR LAS PRÁCTICAS

En esta sección sugerimos algunas actividades para trabajar, con estudiantes de educación media o superior, algunos de los temas discutidos en el capítulo.

I. Enigmas para la simulación de metodologías de investigación

Richard Blakemore era alumno del segundo ciclo en el departamento de microbiología de la Universidad de Massachusetts cuando, en 1975, descubrió, con un microscopio de 80 aumentos, que unos microorganismos extraídos de un pantano salobre nadaban en la gota de líquido en la que se hallaban hasta acumularse en uno de sus bordes (basado en el artículo de Blakemore y Frankel, 1982).

1. Elaborar, en forma individual, una hipótesis que pueda explicar el comportamiento de esos organismos en la gota de líquido.
2. Discutir las distintas hipótesis con los integrantes del grupo, a fin de elegir alguna. Tal hipótesis no debe ser comunicada al resto de los grupos ni al docente, en esta etapa.
3. Describir algún experimento que se podría realizar para poner a prueba la hipótesis.
4. Por grupo y por turno, podrá formularse una pregunta al docente acerca de los resultados que hubieran obtenido de haber realizado el experimento. La respuesta del docente solo podrá ser "sí" o "no"; por lo tanto, debe lograr que la comunicación de la información que va a producir conduzca a esas únicas alternativas. Si la pregunta no se formula adecuadamente no habrá respuesta del docente y el grupo pierde este turno de consulta.
5. Reformular en grupo las hipótesis y/o conclusiones teniendo en cuenta los nuevos datos aportados por el docente a todos los grupos.
6. Cuando el grupo considere que de los resultados obtenidos por su grupo y el de los demás grupos se puede arribar a una respuesta correcta a la hipótesis formulada, se podrá expresar en voz alta la respuesta. Si el grupo no obtiene la respuesta correcta en relación con los resultados obtenidos, pierde la posibilidad de seguir jugando. Si un grupo no se entera (no escucha) de los resultados de los otros grupos, no puede consultar fuera de su turno de participación.
7. Al terminar se deberá hacer, en grupo, una lista con las actividades desarrolladas para resolver el caso; el comportamiento del grupo, la forma en que se logró consensuar o no la hipó-

tesis, la comunicación, y toda otra actividad que pueda ser útil para la metacognición (reflexión sobre los procesos de aprendizaje durante la simulación). El comportamiento y las actitudes también deben ser señaladas (el vocero del grupo respetó las decisiones tomadas en conjunto o priorizó su opinión en el momento de comunicar a los demás grupos, por ejemplo).

Algunas de las actividades desarrolladas:

- Formulación de hipótesis.
- Diseño adecuado de los experimentos.
- Comunicación de la experiencia con un formato determinado.
- Comprensión de los experimentos y datos aportados por los otros grupos.
- Reelaboración de hipótesis.
- Confrontación de datos esperados con resultados obtenidos.
- Anticipación de resultados.
- Elaboración de conclusiones.
- Trabajo colaborativo: cómo se organizaron, cuál fue la participación de cada uno, qué pasó cuando recibieron un resultado negativo, etc.

8. Qué elementos de la actividad se pueden analogar con la investigación científica (competencia, frustración por no haber asistido a un congreso, falta de recursos económicos para comprar revistas actualizadas, dificultades en el aislamiento de variables, también deben ser considerados).
9. Cuáles no fueron modelizados (discriminación por el país de procedencia del trabajo, por conocimiento del autor, por el idioma en que está escrito el trabajo, pueden ser considerados).

II. Ejemplo de una actividad planteada con grados crecientes de indagación[11]

Actividad de nivel 1 (la enzima catalasa-peroxidasa)

Parte 1. Para determinar la presencia de actividad de la enzima en un tejido procedemos de la siguiente forma:

[11] Cada actividad es independiente.

a) En un tubo de ensayo colocar varios trocitos de hígado fresco.
b) Agregar una pequeña cantidad de agua oxigenada.
c) Anotar los resultados.

Repetir esta experiencia con muestras de distintos tejidos animales y vegetales para determinar la mayor o menor actividad, según el tejido con el que se trabaje.

Parte 2. Inactivación de la actividad enzimática por desnaturalización.

El calor desnaturaliza la catalasa. Para determinar la inactivación de la enzima procedemos según el siguiente protocolo:

a) En un tubo de ensayo colocar varios trocitos de hígado fresco con una pequeña cantidad de agua.
b) Agregar agua oxigenada.
c) Observar y anotar los resultados.

Actividad de nivel 2

La catalasa en una enzima presente en todos los tejidos. La existencia de catalasa en los tejidos animales se aprovecha para utilizar el agua oxigenada como desinfectante cuando se echa sobre una herida. Como muchas de las bacterias patógenas son anaerobias (no pueden vivir con oxígeno), mueren con el desprendimiento de oxígeno que se produce cuando la catalasa de los tejidos actúa sobre el agua oxigenada.

a) Averigüen cuál es el sustrato o sustancia sobre la que actúa la catalasa y describan la reacción que se produce.
b) Diseñen un experimento para determinar la presencia de catalasa en un tejido animal.
c) Diseñen un protocolo para determinar la presencia de la enzima en tejidos vegetales.
d) Teniendo en cuenta las propiedades de desnaturalización de las proteínas con el calor, diseñen una experiencia que ponga a prueba esta propiedad en la catalasa.
e) ¿Será igual la actividad de la catalasa en todos los tejidos? ¿Cómo se puede poner a prueba la hipótesis?

f) ¿Qué función cumple la catalasa-peroxidasa dentro de las células y dónde se localiza?
g) ¿Qué relación existe entre las catalasas y los antioxidantes?
h) ¿Por qué se los llama antienvejecimiento *-anti aging-*?

Actividad de nivel 3

Se quiere determinar la existencia de una enzima en algún tejido animal o fluido corporal y su función dentro de las células. Diseñen un experimento factible en el aula para poner en evidencia la presencia de dicha actividad enzimática y otro en que muestren que la actividad enzimática se ha perdido por la desnaturalización de la enzima.

El trabajo con proyectos es un buen ejemplo de actividad de nivel 3. Presentamos un ejemplo y una manera interesante de monitorear el progreso de los estudiantes de una clase a otra. Las "ideas" deberán formar parte de la columna "sabemos" en la clase siguiente. En este caso se trata de un ejemplo real en el cual se estudiaba la enorme proliferación de mosquitos en una zona rural en verano.

Sabemos	Nos hace falta saber	Ideas (pueden ser erróneas)
- Hay que hallar las causas. - Los mosquitos vuelan unos 50 km. - La lluvia fue normal este año.	- Cómo es la geografía de la zona. - Si los mosquitos son autóctonos. - Por qué proliferan. - Si se cambiaron las formas de drenaje. - Qué hacen las personas de la zona. - Todos los años aumentan en esta época.	- Habrá agua estancada. - Los mosquitos se hicieron resistentes.

III. Genética y sociedades[12]

En las comunidades agrícolas la tierra suele ser heredada de padres a hijos varones. Debido a eso los hombres tienden a perma-

[12] Problemas basados en el texto de Alzogaray (2004).

necer en sus lugares de nacimiento. Las mujeres, en cambio, al contraer matrimonio se mudan de la población donde nacieron a la que viven sus esposos. Al moverse de un lugar a otro, sus mitocondrias se distribuyen entre todas las poblaciones. Por el contrario, al quedarse los hombres en sus lugares de nacimiento no hay intercambio de cromosomas Y entre poblaciones.

¿Cómo será la variación (alta-baja) del ADN mitocondrial entre hombres y mujeres de poblaciones vecinas? ¿Cómo será la variación de Y entre las poblaciones vecinas?

En una tribu se encontró que todos los hermanos varones de la primera generación de una familia tienen el mismo cromosoma Y pero distintos ADN mitocondriales. ¿A qué puede deberse?

En la segunda generación de hijos varones de esta familia: ¿tendrán todos el mismo cromosoma Y? ¿Por qué? Y sus mitocondrias, ¿serán iguales o distintas?

Entre los nidos se puede encontrar distinto ADN mitocondrial distribuido por grupos más o menos cerrados. ¿A qué puede deberse? ¿Cómo se puede relacionar este hecho con la estructura social?

IV. Mostrar los debates

Enseñar que hay cuestiones en que los propios investigadores no se ponen de acuerdo es revelar la ciencia como una actividad en constante revisión. Los debates internos, aquellos que se producen en la comunidad de científicos, contribuirán a reflexionar sobre la forma en que se construye la ciencia y podrán servir, por tanto, para dar cuenta de su naturaleza. Al mismo tiempo, trabajar con los debates externos, los sociocientíficos, contribuirá a comprender que la ciencia es parte de la cultura. Y ambos tipos de debates promoverán la capacidad de usar conocimiento científico en la resolución de problemas que demandan la participación social, entender la naturaleza de la ciencia, incluyendo su relación con la cultura, conocer los riesgos y beneficios, y desarrollar un pensamiento crítico hacia la ciencia y sus expertos (Valeiras y Meinardi, 2007).

Un ejemplo de debate en genética mendeliana

Muchas veces estudiamos, leemos, nos preguntamos sobre cuestiones de genética, pero pocas veces hemos leído el trabajo de Mendel. ¿Somos capaces de interpretar sus palabras? Veamos...

> Gärtner, mediante los resultados de estos experimentos de transformación, fue llevado a oponerse a la opinión de aquellos naturalistas que [...] creen en una continua evolución de la vegetación.
> Él percibe en la completa transformación de una especie en otra una indudable prueba de que las especies están prefijadas con límites más allá de los cuales no pueden cambiar (Mendel, 1866).

¿De qué hablaba Mendel en este escrito? ¿Podemos interpretar que se oponía a la idea de evolución, o bien que en sus escritos hacía referencia solamente a la herencia de caracteres de una generación a otra? Cuando menciona la "transformación de una especie en otra", ¿cuál es el concepto de especie que utiliza? ¿Cómo se interpreta el hecho de que si hay una completa transformación de una especie en otra, al mismo tiempo están confinadas?

A favor de Mendel

Nadie dudaría actualmente en ponerse del lado de Mendel. Los defensores del *diseño inteligente*[13] también se ubican ahí.

> *Los últimos escritos de Mendel y las investigaciones en* diseño inteligente.
> Hasta en el último escrito de Mendel tenemos evidencia de su oposición a las erróneas ideas evolucionistas.
> Las especies se encuentran confinadas dentro de límites naturales más allá de los cuales no pueden variar, eso está escrito en el Génesis de la Biblia, fundamento de toda verdadera ciencia, y eso lo demostró elegantemente Mendel. Con dicha demostración y trabajo, Mendel hoy es reconocido como el fundador de la genética, sin importar los críticos presentes o los de su tiempo (<http://www.geocities.com>).

[13] Se presenta como un creacionismo científico, aunque evidentemente no lo es. Para más detalles véase el capítulo 8 de este libro.

En contra

Podríamos decir que en el bando contrario a los defensores del diseño inteligente se encontraría Lysenko, quien hablaba de ciencia burguesa en referencia a la genética mendeliana. ¿Por qué?

> El 31 de julio de 1948 Trofim Denisovich Lysenko presentó la ponencia que le había encargado Stalin sobre "La situación en las ciencias biológicas: informe en la sesión de la Academia Lenin...". La sesión consagró totalmente a Lysenko y condenó "los errores maltusianos de Darwin", "y el carácter reaccionario de Mendel y de la ciencia extranjera". Quedaron eliminadas la investigación y la docencia de la genética clásica y al mismo tiempo los científicos que hicieron su autocrítica fueron "reprimidos" o tuvieron que cambiar de campo. Hubo varios suicidios y tres mil biólogos fueron cesados (Kirill Rossianov, 1994).

¿De qué lado te pondrías? ¿Con qué argumentos te ubicás en ese lugar particular, cómo justificás tu decisión? ¿Fue Mendel un antievolucionista? ¿Qué significa la afirmación de que las especies se encuentran confinadas dentro de límites naturales? ¿Es verdad lo que proponía Lysenko sobre la hibernalización de las semillas, es decir, la capacidad de que el ambiente modele la naturaleza? ¿Por qué se acusa a Mendel de reaccionario? ¿Qué tiene que ver esta crítica con sus descubrimientos?

V. Ciencia y ética

En la Argentina, en abril de 2001, la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva creó el Comité Nacional de Ética en la Ciencia y la Tecnología, el primero de este tipo en el país con incumbencia nacional. Se ocupa, entre otros temas, de analizar los problemas éticos en todos los campos de investigación y los valores éticos que atañen a la labor de los investigadores y las instituciones de producción científica. En relación con la clonación humana, el comité distingue entre clonación reproductiva y con fines terapéuticos. En el primer caso menciona que representa riesgos de tal magnitud que por sí mismos constituyen razones suficientes para aconsejar su prohibición. En cuanto a la clonación con fines terapéu-

ticos y de investigación, concluye que es recomendable no imponer al desarrollo de líneas de investigación que han mostrado ser éticamente aceptables otros límites o condiciones que no sean la calidad y la integridad científica.

Las academias nacionales de ciencias de todas partes del mundo se unen para apoyar la prohibición mundial de la clonación reproductiva de seres humanos, y al mismo tiempo hacen un llamado a fin de excluir de esta prohibición la clonación para la obtención de células troncales embrionarias con fines terapéuticos y de investigación. Les proponemos la lectura de las recomendaciones del IAP (InterAcademy Panel on International Issues) que podrán encontrar en el sitio del Comité de Ética de la SECyT (Argentina) <http://www.eticacyt.gov.ar>, en el apartado "Textos de interés".

¿Qué motivos se dan para recomendar la prohibición con fines reproductivos? ¿Por qué razones se sugiere excluir de esta prohibición los fines terapéuticos y de investigación? ¿Qué opinan de estas recomendaciones?

5. EL APRENDIZAJE DE LOS CONTENIDOS CIENTÍFICOS

por Elsa Meinardi

Jorge Luis Borges escribió en alguna oportunidad: "Todo lenguaje es un alfabeto de símbolos cuyo ejercicio presupone un pasado que los interlocutores comparten."

Si bien el alcance de esta expresión nos puede resultar evidente, recién hace unos pocos años que se ha considerado la importancia de su significado en el ámbito de la educación en ciencias. Cuando los expertos en un tema, los científicos o los docentes se dirigen a un interlocutor, sea un novato, un profano o un alumno, normalmente se asume "un pasado compartido". Es decir, una atribución de significados similares para los símbolos que se ponen en juego en la comunicación.

Sin embargo, actualmente se reconoce que tal *pasado compartido* es solo una ilusión. Cuando los docentes dan clase, muy pocas veces sus alumnos poseen los mismos marcos de lectura para los datos que se les aporta en la clase, de manera que la información que intenta transmitir el docente, y que se encuentra contextualizada en su estructura cognitiva, no logra anclarse en la de los estudiantes de tal modo que se integre en su propia red de conocimientos.

Si el docente logra interrogar a sus estudiantes presentándoles un problema en el cual solo queda la posibilidad de poner en juego lo que se comprende de un tema –no lo que se sabe–, el resultado suele ser desalentador: los estudiantes no pueden explicar adecuadamente un fenómeno, no comprenden profundamente, dan respuestas erróneas similares a las que hubieran dado sin haber recibido una clase sobre el tema, o bien al poco tiempo olvidan todo lo referente al tema y vuelven a las respuestas del sentido común, y aun son capaces de responder que nunca se les enseñó tal cosa.

La conclusión es que, luego de muchos años de escolarización, solo los que logran especializarse en un tema están en aptitud de responder adecuadamente algunas preguntas, mientras que conservan ideas similares a las de niños de 5 ó 6 años en otros campos.

Basta con pensar qué recordamos de física, de química o de biología de nuestros años de escuela secundaria si no somos expertos en esos temas, para caer en la cuenta de estas afirmaciones.

Por eso, dedicamos este capítulo a las ideas erróneas en ciencias. Y, contrariamente a lo que un analfabeto didáctico puede pensar, sostendremos que no basta con dar una buena clase, clara y con buenos ejemplos, para que esos errores se conviertan en saber científico en cabezas iluminadas. Años de investigación muestran que esas ideas erróneas son persistentes; además, ahora se sabe que son útiles, y, finalmente, que nuestros valores se hallan comprometidos en ellas. Se trata de errores, pero también de un saber compartido socialmente que nos dice quiénes somos, cuánto valemos y qué tenemos que creer. Así que la peor estrategia que podemos tener como docentes de ciencias comprometidos con acercar a los alumnos a un saber más científico es subestimarlo.

Comenzaremos citando algunos diálogos mantenidos con personas de diferentes edades y niveles de escolaridad, que en algún momento de su paso por la escuela han recibido instrucción sobre los temas involucrados en las preguntas, sabiendo que la mayoría de los docentes han escuchado, alguna vez, respuestas similares de sus alumnos.

(Diálogo con A., 14 años, cursa segundo año de la enseñanza media)

–Mitocondrias y cloroplastos ¿qué son?

A.: –No tengo la menor idea.
–¿Las células vegetales respiran?
A.: –Depende de qué se entiende por respirar. Supongo que, si es tomar oxígeno y liberar dióxido de carbono, sí.
–¿Las células animales respiran?
A.: –En verdad, no sé si las células respiran. A ver, pensando en que la sangre lleva oxígeno en los glóbulos rojos..., bueno, no sé.

(Diálogo con B., doctor en física)
–¿Todos los seres vivos respiran?
B.: –Sí, pero las plantas respiran al revés que nosotros: toman dióxido de carbono y largan oxígeno.

(Pregunta de J., profesor de física)
J. –¿Me podés explicar qué quiere decir "respirar"?

Estas ideas están presentes en los jóvenes y adultos, antes, durante y después de haber estudiado la respiración. Así, si nos arriesgamos a preguntar a los estudiantes cómo explican un hecho, es muy frecuente que, luego de oír sus respuestas, nos asalten los siguientes pensamientos:

- Las ideas de los estudiantes son erróneas.
- La enseñanza fracasó.
- ¿Ahora qué hago?

El primer punto se relaciona con la evidencia de que las ideas con que los estudiantes llegan a la escuela y las ideas con que los adultos hacemos frente a muchos de los problemas cotidianos que involucran contenidos propios de las ciencias, poco se corresponden con el conocimiento científico.

El segundo punto se vincula con la evidencia de que, a pesar de haber desarrollado el tema en clase, los alumnos no aprendieron, es decir que sus propias ideas, diferentes de las científicas, son persistentes.

Y, para responder el tercero, tendremos que tener en cuenta cómo operan estas ideas sobre un nuevo aprendizaje y qué estrategias se pueden usar en el aula para producir el cambio deseado.

Estas tres aparentemente sencillas cuestiones han dado lugar a la mayor parte de las investigaciones sobre enseñanza y también sobre aprendizaje de los últimos años. En muchos libros y artículos es común leer que uno de los pilares del llamado movimiento constructivista, en educación, ha sido el reconocimiento de la importancia que tienen estas ideas -también llamadas conocimientos previos o representaciones de los estudiantes- para el aprendizaje.

En 1989 se publica un libro esencial sobre el tema, coordinado por las investigadoras Rosalind Driver, Edith Guesne y Andrèe Tiberghien, *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*, en el que se menciona que el niño, incluso cuando es muy pequeño, tiene ideas sobre las cosas, y esas ideas desempeñan un papel propio en las experiencias de aprendizaje. Muchos autores incluyeron esta noción como elemento integrante de sus teorías. Lo que los niños son capaces de aprender depende, al menos en parte, de "lo que tienen en la cabeza", así como del contexto de aprendizaje en que se encuentren.

Vamos a dedicar este capítulo a tales "ideas" o "concepciones alternativas", procurando responder las preguntas acerca de qué son, para qué sirve conocerlas, cómo y cuándo indagarlas y, una vez conocidas, qué podemos hacer con ellas.

Para exponer nuestra visión acerca de qué son las ideas o conocimientos previos, convendrá saber primero si estamos hablando de las mismas cosas, ya que se emplean muchísimas denominaciones diferentes para referirse a ellas.

Si se rastrea el origen de estas denominaciones, se puede notar que muchos autores creaban una designación para denotar un nuevo objeto. Sin embargo, actualmente esta intención se ha perdido de vista y podemos encontrar, en el mismo trabajo, diferentes denominaciones para hablar de lo mismo: ideas previas, concepciones alternativas, errores de los alumnos, representaciones intuitivas, nociones espontáneas, concepciones personales, preconcepciones, concepciones primitivas, ideas de los niños, y sus posibles combinaciones, como concepciones espontáneas.

Cuadro de denominaciones
(adaptado de Jiménez Gómez, Solano Martínez y Marín Martínez, 1994)

Nombre	Autor	Significado
Noción	Nussbaum y Novak (1976)	Categorías creadas por el investigador inferidas de las respuestas de los alumnos.
Concepciones de los alumnos	Novick y Nussbaum (1978)	Respuestas que dan los alumnos a situaciones físicas. Pueden ser producto de la percepción o modelos más elaborados.
Ideas de los niños	Erickson (1979)	Unidades de análisis establecidas por el investigador sobre las respuestas personales dadas en una entrevista clínica.
Razonamiento espontáneo	Viennot (1979)	Esquemas explicativos comunes a diferentes sujetos entrevistados. Intuitivos, posiblemente erróneos y persistentes después de la instrucción.
Preconcepción	Novick y Nussbaum (1981)	Explicaciones que dan los sujetos a una situación sobre la que han recibido o no instrucción.
Ideas de los alumnos	Driver (1981)	Ideas infantiles, distintas de las científicas, sobre el modo en que ocurren los fenómenos.
Preconcepto	Carrascosa Alis y Gil Pérez (1985)	Conceptos distintos de los científicos, producto de la enseñanza basada en la metodología de la superficialidad.

Un ejemplo servirá para aclarar la idea de categorías establecidas por el investigador y respuestas de los niños:

A Agustín, de 7 años, se le preguntó por qué la gente dice que la Tierra es redonda como una pelota. La respuesta fue: "la Tierra es

redonda porque si fuera triangular o cuadrada tendría puntas y nos pincharíamos". Esta respuesta sería categorizada por el investigador como noción 1: "la Tierra en que vivimos es plana y no redonda como una pelota". Al mismo tiempo, la respuesta de Agustín, sin categorización del investigador, forma parte del conjunto de "ideas de los alumnos".

La lista de denominaciones puede ser ampliada con autores que mencionan que las ideas previas de los alumnos se organizan en "teorías implícitas"; hablan de "concepción" o "constructo" para referirse a un conjunto de ideas coordinadas e imágenes coherentes y explicativas, o de "concepciones alternativas" que en la mente hacen de "obstáculo" (Pozo, 1996; Giordan, 1998; Giordan y De Vecchi, 1995; Astolfi, 1999; Astolfi y Peterfalvi, 1997, respectivamente).

Además de la distinción entre ideas de los estudiantes y categorías establecidas por el investigador, podemos notar que en el cuadro se mencionan ideas intuitivas o del sentido común, generadas en un contexto familiar, e ideas postinstruccionales.

La idea de que las plantas se alimentan de la tierra de las macetas sería una idea de sentido común; se encuentra esta respuesta en cualquier persona que haya recibido o no instrucción sobre el tema. La concepción de que la fotosíntesis es inversa a la respiración sería postinstruccional, ya que se necesita haber pasado por algún tipo de instrucción para poder comparar –aun erróneamente– los procesos.

Ambas son erróneas, sin embargo, ¿tendrán el mismo peso a la hora de planificar la enseñanza? ¿Serán igualmente difíciles de modificar? ¿Tienen la misma relevancia desde el punto de vista didáctico? Trataremos este crucial problema más adelante.

Algunos autores mencionan que las diferentes denominaciones pueden ser atribuidas a diferentes formas de considerar las ideas de los alumnos, ya que no sería igualmente respetuoso hablar de "equivocaciones" que de "ciencia de los alumnos".

Variedad de puntos de vista sobre las concepciones de los alumnos (según Posada, 2000)

Empirista: Conjunto inconsistente de conocimientos		- conceptos erróneos - interpretaciones erróneas - equivocaciones - errores
Cambio conceptual: Cuerpo coherente de conocimientos	Revolucionario (barrera)	- ideas erróneas - interpretaciones erróneas
	Evolutivo (integración)	- esquemas previos - concepciones previas - concepciones existentes - razonamientos espontáneos - modelos mentales - esquemas alternativos - ideas alternativas - concepciones alternativas - ciencia de los niños

Los "empiristas" serían los que consideran las ideas de los alumnos como conocimientos errados e inconsistentes. Los que consideran coherentes las ideas de los estudiantes, por el contrario, pueden inclinarse por una perspectiva en la cual los errores funcionan como barreras para el aprendizaje; por lo tanto, cambiarlos implica una revolución; o por una perspectiva evolutiva, en que los nuevos conceptos se integran con las ideas preexistentes. De esta forma, el término "error" establecería un juicio de valor negativo, que no aparece cuando se usa "concepción alternativa", por ejemplo.

Nuestro punto de vista es diferente. Hemos adoptado la mirada de Astolfi, cuando dice "Aprender es arriesgarse a errar".

LOS ERRORES DE LOS ESTUDIANTES

En un trabajo de aula, se pidió a alumnos de hasta 13 años que ordenaran sobre una línea de tiempo ciertas fechas.

Respuestas de los alumnos (adaptado de Astolfi, 1997)

Una respuesta frecuente fue la de poner todas las fechas equidistantes (arriba). Otras respuestas fueron del siguiente tipo:

Al observar estas últimas respuestas, que en principio parecen "más erradas" que las primeras, se ve que los chicos dejan a un lado los días y años, y reparan solo en el número del mes en el calendario: 7 líneas para julio, 11 para noviembre, 1 para enero y 12 para diciembre.

Si analizamos las producciones de los alumnos, las que parecen más erradas, como en este ejemplo, pueden llegar a ser las más complejas o evolucionadas, o, al menos, aquellas en las que los estudiantes más han pensado.

Si comparamos las ideas de nuestros alumnos con los modelos aceptados actualmente por los científicos, las consideramos errores sin que esto implique la vergüenza pública de nuestros estudiantes, ni algo que haya que penar, sino todo lo contrario: una advertencia para los docentes sobre los nudos que será necesario desatar, nuestros objetivos-obstáculo, algunos de cuyos nudos de dificultad formarán parte de los objetivos de enseñanza.

El error da idea de la forma en que los estudiantes -y las personas en general- se explican a sí mismos un fenómeno.

Además, las ideas erróneas son útiles porque nos dan una manera de pensar un problema, y cuando enseñamos hay que tenerlas siempre presentes porque constituyen la base sobre la cual van a pensar nuestros alumnos aquello nuevo que les estamos ofreciendo. Es lo que tenemos para pensar y sobre eso construimos nuevo conocimiento. El error es como el sillón en el que descansa nuestro pensamiento.

Podría pensarse que las explicaciones del sentido común tienen una raíz evolutiva, responden a la necesidad de hallar explicaciones a los hechos que percibimos y nos permiten anticipar fenómenos cotidianos. El pensamiento finalista, aquel que le otorga finalidades a la naturaleza, podría explicarse –tal vez– en esta dirección.

Todo esto abona la convicción de que la tarea de cambiar estas ideas erróneas del sentido común por otras más científicas no es sencilla ni trivial.

CARACTERÍSTICAS DE LAS IDEAS PREVIAS

Tal como ocurre con las denominaciones, también hay gran número de versiones respecto de las características de las ideas previas.

Para algunos autores, las de los alumnos "no conforman un sistema elaborado de ideas". Para otros, poseen cierto grado de organización y consistencia, lo que permite considerarlas teorías. Otros piensan que, en ocasiones, cuando interrogamos a los alumnos obtenemos respuestas incoherentes que se contradicen entre sí y que cambian de un momento a otro. Así, por ejemplo cuando se les pregunta qué es un átomo, pueden responder "una célula" y, más tarde, "un bichito chiquito".

También, en algunas investigaciones se interroga a los estudiantes sobre cuáles son los nombres de los órganos que conforman el tubo digestivo y en qué orden se disponen en él; es decir, incluyen dentro de estas ideas el conocimiento de datos que, en muchos casos, es memorístico, y no funciona como modelo explicativo.

Por el contrario, otros autores consideran que funcionan como verdaderos esquemas de asimilación, es decir, a modo de hipótesis o teorías originales con las que el sujeto interpreta y otorga significado al mundo social.

La consistencia y la organización que podemos detectar en las ideas de los alumnos muchas veces están condicionadas por el tipo de preguntas que formulamos para conocerlas; y esto a su vez está condicionado por nuestra concepción sobre qué son las ideas. Si creemos que las ideas pueden ser contenidos memorísticos, como el nombre de una estructura (tipo de raíz de las plantas leguminosas), un

órgano (faringe o laringe) o una organela (mitocondria o cloroplasto), entonces indagaremos para obtener información sobre la presencia de estos datos en la cabeza de nuestros alumnos. Y la respuesta esperada es solo una: la correcta.

Estas preguntas no se diferencian, muchas veces, de las que aparecen en los cuestionarios que se generan desde modelos conductistas o de transmisión/recepción.

Estos interrogatorios (evaluaciones de conocimientos) no pueden ser considerados una verdadera indagación de ideas previas debido a que las respuestas que se dan no suelen conducir a explicaciones acerca de la forma de pensar un problema o de explicar un fenómeno. Las respuestas que una persona da en un momento, y cambia en el siguiente, podrían ser consideradas "ideas *ad hoc*", que le sirven para salir del paso. No tienen ninguna utilidad didáctica salvo la de hacernos saber que la persona interrogada no sabe la respuesta o, en muchos casos, ni siquiera comprende qué le estamos preguntando. Y respecto de las indagaciones en las que se interroga sobre, por ejemplo, los nombres de los órganos que forman el tubo digestivo y la secuencia en que se disponen desde la boca hasta el ano, estas solo nos permiten constatar la presencia o no, en la cabeza del estudiante, de los contenidos enseñados. De este modo, podemos evaluar un proceso instruccional, si "algo quedó" de la clase pasada o del año anterior; pero poco nos informarán sobre la visión del mundo de la persona que produce la respuesta.

La cuestión crucial a considerar no es, por lo tanto, si los alumnos entienden los conceptos o modelos teóricos que se les enseñan, sino si pueden utilizarlos y tenerlos como útiles y adecuados para interpretar los hechos a los que se enfrentan.

DEL "BESTIARIO" DE IDEAS PREVIAS A LA BÚSQUEDA DE LOS OBSTÁCULOS

En los primeros trabajos de investigación sobre estas ideas se trataba de inferir un inventario de informaciones sobre las ideas de los alumnos, y en algunos casos surgían "bestiarios", "antologías

del disparate", es decir, largas listas de respuestas erróneas, como una taxonomía del horror. La mayor parte de los trabajos actuales se interesan en las "representaciones" como proceso, es decir, tipos de estructuras que se ponen en marcha frente a situaciones o problemas determinados. Se trata de un conjunto de ideas coordinadas e imágenes coherentes, explicativas, utilizadas por las personas para razonar frente a situaciones-problema, y evidencian una estructura mental subyacente responsable de estas manifestaciones contextuales. De allí la importancia de poner a los estudiantes frente a situaciones-problema para llegar a conocerlas.

Uno de los conceptos utilizados en didáctica de las ciencias que ha tenido más éxito en los últimos diez años es el de representación, cuyo punto de partida puede hallarse en los trabajos de Bachelard, Piaget y Bruner (Astolfi y Develay, 1989). Aprender significa construir representaciones apropiadas del mundo, pero todo aprendizaje es interferido, a su vez, por los saberes o representaciones previas, que sirven de sistema de explicación eficaz y funcional para el aprendiz.

Las representaciones previas funcionan, muchas veces, como obstáculos para el nuevo aprendizaje. Por este motivo, los alumnos pasan por su escolaridad conservando representaciones inmutables a pesar de la avalancha de información académica a que se hallan sometidos.

Un relato servirá para ejemplificar esta concepción acerca de las ideas o representaciones previas.

> Marcelino Cereijido, mi padre, había emigrado de España a la Argentina [...]. Para todo fin práctico, mis familiares eran casi exclusivamente los Mattioli, la rama materna de un árbol que hundía sus raíces en Italia. Los padres de mamá eran italianos, hablaban entre ellos piamontés, y conmigo en lo que ellos llamaban "la castilla", *parlanza* que, a pesar de constituir un esforzado acercamiento al idioma que oían en la calle, era tan deforme como sus huesudas manos. En cambio tío Pascual, el mayor, quien había venido de [...] Piamonte cuando tenía un año de edad [...], no tenía el menor acento peninsular. Yo pensaba que si bien tío Pascual era italiano, no lo era tanto como los abuelos. Lo seguían en edad mi tío Marco y mi madre, argentinos ambos, que jamás hablaban en italiano, pero que lo entendían con facilidad. Luego venían los argentinísimos tíos Juan y Carlos, que no hablaban piamontés pero así y todo sabían cancio-

nes alpinas, refranes en italiano y frases sueltas. La menor era tía Josefina, cuyo italiano a lo sumo le permitía seguir el hilo de lo que se estaba hablando. Pasábamos así a la generación siguiente, la de mi hermano Carlos, mi prima Lucy y yo, que éramos cien por ciento argentinos.
Y sobre aquella casuística familiar en la que ordenaba a mis parientes por edades y grado de italianidad, desarrollé mi primera hipótesis científica [...], llegué a pensar que a medida que uno envejece se vuelve italiano. [...].
La hipótesis fue muriendo por ineficiencia sin que me percatara. Así y todo sufrió un colapso preciso y final: Boido. Lo trajo la maestra ya iniciados los cursos. Boido venía de Italia, Trieste para mayor precisión y, por si esto hubiera sido poco, ¡era italiano!
–¿Tan chico y ya italiano? –quise confirmar–, y Boido tuvo entonces un nuevo ataque de extrañeza y angustia en ese país tan lleno de cosas ajenas. [...].
En cierto modo pude comprenderlo, pues mi abuelo solía afirmar que Italia era un país mucho más adelantado que la Argentina. Además, quizá por la guerra mundial [...], allá la gente se había visto obligada a empezar a ser italiana desde su temprana infancia (Cereijido, 1999).

Marcelino (hijo) tenía un modelo respecto de qué era ser italiano, con datos y predicciones. Cuando se presenta un dato anómalo, que podría llevarlo a rechazar su modelo, él realiza acomodaciones que le permiten sostenerlo.

De la misma manera, las ideas previas que nos interesa considerar son aquellas que funcionan de esta forma, como modelos en acción, modelos explicativos que las personas emplean para dar cuenta de un fenómeno o proceso. Y, para eso, tendremos que preguntar a los estudiantes de manera que puedan ponerlos en funcionamiento y explicitarlos.

¿TIENEN LA MISMA RELEVANCIA LOS APRENDIZAJES ESCOLARES Y LOS SOCIALMENTE COMPARTIDOS?

Es más fácil desintegrar un átomo que un preconcepto.
ALBERT EINSTEIN

Retomamos aquí un tema planteado con anterioridad: las ideas del sentido común y las postinstruccionales, ¿tienen la misma relevancia

desde el punto de vista didáctico? ¿Son tan difíciles de modificar unas como otras?

Proponemos que el conocimiento escolar es de naturaleza completamente distinta de una "idea intuitiva". El conocimiento científico escolar es, en el mejor de los casos, una transposición del científico. Probablemente el estudiante no posea modelos del mundo similares a los científicos sino, más bien, algo mucho más simple y quizá menos coherente.

Por el contrario, el conocimiento "cotidiano" es de carácter intuitivo y ha sido compartido con sus pares y con su familia (es intersubjetivo), se ha validado con la experiencia y se ha adquirido en un contexto en el cual le permitió a la persona formar parte de un grupo, ser aceptado en él. En algunos casos la impronta afectiva de estos saberes puede ser muy grande.

Cuando la enseñanza formal impone al estudiante dejar de confiar en estos referentes afectivos y socioculturales que le han permitido construir y manejar la realidad por sucesivas aproximaciones, para darle un lugar a la información que trae el maestro o la profesora, ese alumno no logra transformar sus representaciones probablemente, entre otras cosas, porque no comprende por qué debe hacerlo.

A pesar de la importancia que estos aspectos afectivos tienen para el aprendizaje, recién hace pocos años se formulan modelos que los consideran como variables. La inclusión de la afectividad y la subjetividad entre las variables a ser investigadas en el proceso didáctico es probablemente un campo que veamos desarrollarse en los próximos años.

Por lo tanto, parece obvio, pero poco tenido en cuenta en las investigaciones y aun en la práctica educativa, que debería haber alguna distinción acerca de si las ideas previas son ideas cotidianas o si se han constituido en el marco escolar como producto de la instrucción, o bien resultan de la interacción de ambos saberes, en el mejor de los casos. La significatividad de los aprendizajes, en el sentido en que el psicólogo estadounidense David Ausubel propuso al término, dependerá del grado de integración del nuevo conocimiento con el previo, incluso independientemente de que los nuevos saberes significativos puedan ser erróneos o no. Y, como muchas veces hemos constatado, los aprendizajes escolares demandan mucho

más tiempo del que suponemos hasta hacerse significativos en la estructura representacional de los estudiantes. Durante mucho tiempo quedan aislados, como aprendizajes memorísticos encapsulados, no funcionales y, muchas veces, terminan siendo olvidados sin llegar a integrarse, sin lograr modificar el modelo intuitivo.

A los fines de la educación, no puede ser lo mismo un modelo explicativo del mundo validado socioafectivamente, que un saber aprendido en la escuela. Si podemos diferenciarlos, nuestro proceder sobre ellos también podrá ser diferente. Más allá de que algunos los consideren "obstáculos epistemológicos", "enemigos a combatir" o "conocimientos contextualmente erróneos".

LAS REPRESENTACIONES COMO OBSTÁCULOS DEL APRENDIZAJE

El epistemólogo y físico francés Gaston Bachelard propuso, hace más de medio siglo, que el conocimiento científico no era una continuidad del cotidiano;[1] es decir, no se trata de hacer evolucionar uno para llegar al otro. En este modelo, se conoce *en contra* de un conocimiento anterior, ya que el conocimiento científico contradice el sentido común. De acuerdo con ello, el conocimiento previo funciona como un obstáculo epistemológico y es, por lo tanto, un enemigo a combatir.

Las miradas más actuales proponen que estas ideas, aun las que funcionan como obstáculos, forman parte del propio pensamiento y, antes que una dificultad, son una facilidad que se concede la mente cuando está *sentada en un sofá*. Esta noción se la debemos a Martinand (1986), quien define el concepto de objetivo-obstáculo para dar idea de la necesidad de que los docentes puedan reconocerlos y tenerlos en cuenta en el momento de planificar sus clases, constituyéndolos en los objetivos de la enseñanza, sabiendo que son muy resistentes por su alto grado de significatividad.

[1] Como mencionamos en el capítulo 3.

Tal vez el objetivo actual de muchos docentes no sea removerlos, sino lograr que los estudiantes puedan detectar los obstáculos que, en la construcción de sus modelos, les impiden acceder a las explicaciones científicas.

El concepto de nudo de obstáculo o de dificultad también ha resultado muy útil para la enseñanza. Un nudo puede estar presente en una pluralidad de concepciones. Por ejemplo, la ausencia de conceptualización en términos de procesos químicos, que necesitan energía, es común a la concepción de:

- doble trayecto digestivo, uno para los líquidos y otro para los sólidos,
- la respiración como solo ventilación,
- la fotosíntesis como respiración al revés,
- los procesos digestivos como simple descomposición mecánica.

Otro ejemplo es la dificultad de concebir una membrana que pueda ser limitante y permeable al mismo tiempo; este nudo de obstáculo se manifiesta en la dificultad para comprender los procesos de transporte que ocurren en los capilares sanguíneos, los alvéolos pulmonares, el intestino y los túbulos de las nefronas.

Las investigaciones más recientes indican que en muchas respuestas de los estudiantes que consideramos "ideas previas" subyace un mismo obstáculo; es decir, no habría una identificación completa entre ambos.

El obstáculo es una forma de pensar funcional (es explicativo) y transversal, ya que subyace en muchas ideas previas. Planteamos que el finalismo (en la naturaleza todo sucede para algo) es una forma de pensar que funciona como obstáculo transversal a muchas ideas previas (González Galli, tesis doctoral en preparación). Algunas manifestaciones o errores locales de este obstáculo son:

- Las bacterias se acostumbran a los antibióticos.
- Los piojos se vuelven resistentes porque tienen la necesidad de adaptarse.
- Las cucarachas mutan para hacerse resistentes al insecticida.

- Las plantas hacen fotosíntesis para que podamos respirar.
- Las flores producen perfumes para atraer a los polinizadores.

El objetivo didáctico es generar en los estudiantes la capacidad de analizar sus propios modelos por medio de la metacognición y la metarreflexión, y la vigilancia epistemológica.

Para lograrlo, es importante que los estudiantes puedan:

- explicitar sus maneras de pensar;
- identificar la forma general de pensamiento y sus manifestaciones locales.

Esto implica, por parte del docente, diseñar las estrategias didácticas adecuadas centradas en la superación del obstáculo.

Distintos tipos de obstáculos

Se pueden distinguir al menos tres facetas de un obstáculo: epistemológicas, psicológicas y didácticas. Según los obstáculos, una de ellas puede predominar sobre las otras.

La permeabilidad de las membranas (de las paredes digestivas, circulatorias, respiratorias o excretoras) de un organismo puede ser un obstáculo epistemológico (se usa el término epistemológico según el significado que le otorgan los autores franceses, es decir, referido al conocimiento): es un conocimiento a adquirir. Pero también hay un componente psicológico: es difícil aceptar la posibilidad de permeabilidad en una barrera protectora. También son de este tipo las dificultades que aparecen al concebir las enfermedades genéticas, ya que la representación social, instaurada luego de los trabajos de Pasteur, hacen ver la enfermedad como un fenómeno cuya causa es externa al individuo, es decir, ocasionada por una amenaza del entorno. De esto dan cuenta las expresiones: guerra contra los microbios, defensas del organismo, invasión bacteriana, enemigos a combatir, entre otras.

Leeuwenhoek (1632-1723), el comerciante de hilos famoso porque usaba las lentes de sus cuentahilos para observar todo lo que tenía a su alcance –y de este modo se transforma en el primero en observar espermatozoides, células y microorganismos–, cruzó conejos

machos de color gris y orejas cortas con hembras blancas de orejas largas y obtuvo una descendencia de conejos grises con orejas cortas, como los padres.

Su conclusión fue que en un cruzamiento existe una predominancia de caracteres masculinos en la descendencia. Sin embargo, solo hubiera bastado cruzar una hembra gris de orejas cortas con un macho blanco de orejas largas para ver que no era así. Podemos pensar que el modelo "animalculista" al cual Leewenhoek adhería se constituyó en un obstáculo psicológico (para más información se sugiere leer acerca de los debates preformistas -ovistas/animalculistas- y epigenistas).

La noción de la herencia a través de la sangre (persistió durante siglos y fue refutada por los trabajos de Mendel, quien planteó la herencia particulada), que puede constituirse en un obstáculo psicológico, se denota en numerosas referencias que persisten hoy en día: es de mala sangre, lleva la sangre de su padre, es de sangre real, son parientes de sangre, son de la misma sangre, lo lleva en la sangre.

En la teoría de la evolución, un obstáculo epistemológico y psicológico se manifiesta al tener que comprender que no existe una relación causal entre la aparición de la información genética que da resistencia a la población a un agente externo, por ejemplo un antibiótico, y la exposición de los organismos al antibiótico. Esta causación espontánea (en la cual, erróneamente, la causa sería la exposición al antibiótico y el efecto la resistencia) es un verdadero obstáculo.

La representación de la célula como dos círculos concéntricos del tipo "huevo al plato" puede producir obstáculos del conocimiento cuyo origen es didáctico, dificultando la adquisición de conceptos tales como la importancia de la relación superficie/volumen en la fisiología celular, la diferenciación celular y aun, como nuestros propios trabajos han encontrado, la concepción de que la diferencia más importante entre una célula procariota y una eucariota no es la ausencia de núcleo en la primera, sino de membranas internas que separen zonas de diferentes procesos metabólicos, y que actúen al mismo tiempo de eficientes sistemas de transporte entre el medio interno y el externo de la célula, lo cual permitiría un desarrollo mayor del tamaño y, finalmente, una integración en sistemas de

tejidos y órganos. Es decir, una explicación evolutiva ligada a la concepción del volumen celular.

Al mismo tiempo, las dificultades de los estudiantes para comprender la importancia del aumento de la superficie en relación con el volumen en muchos procesos biológicos, por ejemplo la absorción intestinal favorecida por microvellosidades, además de las vellosidades y pliegues del intestino; el intercambio en los alvéolos pulmonares o en los capilares sanguíneos; la digestión mecánica o la emulsión biliar, que favorece el contacto de los alimentos con las enzimas, podrían radicar sobre todo en obstáculos didácticos.

> El tubo digestivo como una tubería continua puede ser un obstáculo para comprender el concepto de asimilación o de superficie de intercambio (Clément, 1998).

La enseñanza compartimentalizada también puede ser fuente de obstáculos de origen didáctico. Esto se nota claramente en la enseñanza de las estructuras celulares desde el punto de vista morfológico, cuando en verdad dichas estructuras adquieren sentido a la luz de las funciones que en ellas se cumplen. La tendencia debería ser la adopción de modelos dinámicos, modelos de correlación estructura/función.

Hallamos otro ejemplo en la enseñanza de los aparatos y sistemas de órganos sin la integración funcional de la digestión, el transporte, la respiración y la excreción, lo que puede llevar a que los estudiantes difícilmente respondan para qué respiramos, como mencionamos al principio del capítulo.

CAMBIO CONCEPTUAL Y APRENDIZAJE

El denominado *cambio conceptual* puede considerarse como el pasaje de las concepciones del sentido común (ideas previas o alternativas) a las científicas.

¿Hay cambio? Si lo hay, ¿cómo se produce?

Mucho se ha discutido sobre los modos en que se produce –o no– dicho cambio. Se habla de que el pasaje de las ideas erróneas

a "algo más próximo a lo científico" se produce por sustitución de unas ideas por otras, por ampliación de las primeras, por integración jerárquica de unas en otras, o bien que no existe tal sustitución, sino una convivencia de ambas ideas en la cabeza de las personas.

¿Cuál es la función del conocimiento previo?

Otra pregunta pertinente al respecto es qué función desempeña el conocimiento previo en este pasaje: sirve de ancla de los nuevos conceptos científicos, o más bien funciona de obstáculo, como ya mencionamos.

¿Cuál es la naturaleza del cambio?

Una tercera pregunta que se intenta responder en las investigaciones sobre cambio conceptual se refiere a "qué es lo que cambia". ¿Se trata de un cambio de conceptos, de cambiar un concepto erróneo por uno científico, es un cambio racional, o se trata de un cambio representacional, en el cual están involucrados motivaciones, creencias, valores y emociones?

Dedicarnos exhaustivamente a este tema no es la intención de este libro: existe muy buena bibliografía reciente y accesible al respecto (véase, por ejemplo, Carretero y Vosniadou, 2006).

Respecto de los autores que proponen que sí hay cambio conceptual, podemos mencionar a grandes rasgos dos líneas de investigación:

- una evolutivo-cognitiva que atiende al aprendizaje (Piaget; Karmiloff-Smith y cols.);
- una instruccional, basada en cómo enseñar ciencias para provocar el cambio conceptual (Driver, 1978; Viennot, 1979; Posner y cols., 1982, entre otros).

Los investigadores partidarios de que no existe el cambio conceptual se apoyan en la idea de que hay múltiples representaciones

que se activan en contextos diferentes (Pozo, por ejemplo). Otros mencionan el aprendizaje situado: la información se adquiere en un contexto limitado y se aplica luego a una mayor variedad de situaciones. No determina el abandono de representaciones y el reemplazo por medio del análisis del discurso.

El tema del cambio conceptual es aún, después de muchos años, un punto de discusión arduo tanto desde la perspectiva didáctica como desde la psicología cognitiva. Y, probablemente, estemos frente a un tema en el cual los dos campos de investigación procedan actualmente con modelos inconmensurables.

La perspectiva que nos interesa considerar aquí es una bastante reciente: propone que el cambio producido en el camino que va desde las ideas previas hasta las ideas científicas es mucho más complejo que un mero cambio de conceptos; se trataría de un verdadero cambio representacional. Los modelos que sostienen esta postura se denominan "calientes" en contraposición a los "modelos fríos" o racionales del cambio conceptual.

Para algunos autores, el cambio conceptual supone cambios en el modelo mental de una persona a medida que adquiere conocimientos. Las suposiciones ontológicas y epistemológicas contribuyen a restringir los tipos de creencias e inferencias que pueden existir en el modelo mental de una persona. Los estudiantes realizan observaciones de los fenómenos sobre la base de su experiencia en un contexto cultural. Esta experiencia origina inferencias, creencias y un conocimiento conceptual sobre los fenómenos y se ve restringida por las suposiciones epistemológicas y ontológicas (creencias básicas, categorías) de los individuos.

Otros investigadores sugieren extender el modelo de cambio conceptual, para lo cual proponen que las creencias motivacionales sobre uno y sobre el aprendizaje pueden actuar como suposiciones que dificulten o favorezcan el cambio conceptual. Y, por lo tanto, proponen incluir factores cognitivos, motivacionales y sociocontextuales al considerar el cambio que sufre -o debería sufrir- una persona en el camino que recorre -o debería recorrer- al pasar de un conocimiento ingenuo del mundo a un conocimiento científico. Involucrarse con el aprendizaje puede llevar a un cambio más profundo que el meramente conceptual.

LA INDAGACIÓN DE LAS IDEAS PREVIAS EN EL AULA

Al leer literatura sobre didáctica, muchas veces se encuentra que indagar las ideas de los estudiantes se ha transformado en una obligación. Algunos profesores llegan a decir que el constructivismo impone la necesidad de indagar esas ideas previas. Sin embargo, lo más importante es, como mencionamos, qué indagamos (para lo cual hay que planificar muy bien cómo lo hacemos) y, sobre todo, qué planificamos para después de esta indagación. Y allí suelen aparecen los mayores problemas, ya que la clase puede transformarse en meramente expositiva o bien en una clase en que el docente no establece una comunicación verdaderamente interactiva con los alumnos. En ese caso las preguntas del docente solo admiten respuestas únicas: "¿Cómo se llama la larva de los cnidarios?", "¿Qué dice la segunda ley de Newton?"; o solo se tienen en cuenta las respuestas correctas: "Plánula, sí"; o bien las preguntas son rituales: "¿Entendieron?", y solo hace falta un sí o un cabeceo a favor para seguir la exposición.

Entonces, ¿para qué indagamos?, ¿qué hacemos con la información que recogimos de nuestros alumnos? Así, a menudo la indagación no es más que una interrogación discursiva.

Una vez conocidas las concepciones de los alumnos, varias actitudes son posibles.

Actitudes de cara a las representaciones de los aprendices
(adaptado de De Vecchi y Giordan, 1989)

- No reconocerlas (como si no existieran). - Ignorarlas porque se las considera parásitos, es decir, evitarlas.	"Hacer sin"
- Tenerlas en cuenta como instrumento didáctico: - utilizarlas como motivación simple; - tratarlas de manera implícita sin hacerlas emerger; - haciendo que solo se expresen; - en oposición. - Refutarlas al cuestionarlas. - Purgarlas para destruirlas.	"Hacer con"
- Confrontarlas.	"Hacer en contra"
- Apoyarse en ellas para transformarlas.	"Hacer con para ir en contra"

La indagación de las ideas previas de los estudiantes requiere ser tenidas en cuenta en una secuencia didáctica completa: tanto en el momento de la planificación de la clase, como cuando los alumnos preguntan; también cuando contestan de manera errónea o anticipando sus modelos explicativos.

Por ejemplo, frente a la pregunta del docente, "¿Qué diferencia hay entre una vacuna y un suero?", los estudiantes pueden ofrecer respuestas como las siguientes:

- "¿La vacuna de la hepatitis es la que deja la marca?".
- "A mí me dijeron que hay que ponerse azúcar".
- "A mí, limón".

Como vemos, las respuestas no van en una sola dirección ni aparece una única respuesta correcta. Si tomamos las respuestas como instancias o momentos de un proceso que se está desplegando, podemos volver a interrogar de manera que los chicos expliquen por qué una vacuna puede dejar marca o por qué habría de ponerse azúcar en una herida. Se trata, entonces, de planificar la clase de modo que la indagación no sea vista como una mera excusa para seguir una exposición unidireccional.

Querer conocer aquello que los estudiantes saben o piensan sobre un fenómeno natural es, a nuestro juicio, un cambio de actitud importante de parte del docente. La forma en que los chicos se explican un hecho, o sea sus modelos del mundo, adquiere una relevancia nueva en el aula. Este cambio de perspectiva lleva a preguntar de otra manera y, sobre todo, a escuchar sus respuestas, qué tienen para decir y cómo están interpretando la información nueva que traemos. Preguntar de modo que puedan expresarse, escuchar qué piensan y tratar de comprenderlo implica un verdadero cambio en las prácticas de aula. Un cambio que supone interés por los errores porque son constitutivos del pensamiento. Si revisamos de la misma forma nuestros propios modelos, también vamos a encontrar muchos de estos o de otros errores. Por ejemplo, ¿qué sabemos sobre el debate respecto del concepto de especie?, ¿cuál es la unidad de selección en evolución?, ¿a qué se refiere la supuesta tautología darwiniana? o ¿qué significa respirar?

Por último quisiéramos señalar que, aun poniendo en juego las mejores estrategias didácticas, habrá estudiantes que no aprendan. Coincidimos con Fabre cuando dice que toda transformación de las representaciones (¿qué hay que pensar?) es igualmente una remodelación de las identidades (¿cuánto valgo?) y una puesta en cuestión de las ideas recibidas (¿qué hay que creer?) (Fabre, 1995).

El conocimiento está vinculado con la historia de cada persona y los errores son constitutivos del propio acto de conocer. Entonces, ¿por qué esperamos que se modifiquen fácilmente?

Planificar la clase teniendo en cuenta los obstáculos

Uno de los cambios de perspectiva más importante que ha ocurrido en la enseñanza de las ciencias en los últimos años ha sido el de pasar de una selección y secuenciación de los contenidos escolares en función de los temas disciplinares a otra centrada en los procesos cognitivos de los alumnos. En este sentido, el conocimiento de los modelos de explicación de los alumnos nos ayuda en esta selección. Una vez conocidos los nudos de dificultad de un tema, aquellos que con más frecuencia pueden funcionar como obstáculos, tanto en el contenido como en la mente de los alumnos (psicológicos), podemos seleccionar los contenidos de manera de transformar esos obstáculos en nuestros objetivos de enseñanza: qué problemas tratar, cómo desarmar los nudos, de qué modelos están dando cuenta los errores. La secuenciación también estará signada por ellos.

Ideas generales sobre formas de indagar las ideas previas[2]

- A través de dibujos, por ejemplo del interior del cuerpo (o de una semilla) o del de su mecanismo interno.
- A través de preguntas sobre la explicación de hechos puntuales: por qué llueve, qué hacemos para doblar el brazo.

[2] Según Giordan y De Vecchi (1995).

- Solicitando explicaciones sobre esquemas, fotografías, textos periodísticos que versen sobre una temática de interés, etc.
- A través de la formulación de preguntas que demanden una reflexión.
- A partir de la negación: ¿y si el sol no existiera?, ¿y si fueras ciego?
- Sugiriendo la anticipación de resultados a partir de experimentos.
- Proponiendo modelos analógicos que ameriten una elección para representar una situación y solicitando la explicitación de argumentos: ¿el intestino es como una esponja o un queso gruyere?, ¿la célula es como un huevo, una bolsa llena de líquido, una esponja, un jabón?
- A través del planteo de situaciones de apariencia contradictoria (paradojas):
  - ¿Por qué hacemos el "boca a boca" cuando una persona se ahoga si largamos "aire viciado"?
  - Se dice que las plantas fabrican sus alimentos: ¿para qué las regamos entonces?
  - La lana no calienta. ¿Por qué estamos más abrigados con un suéter?, ¿cómo "funciona" una bufanda?
  - ¿Por qué se dice que el efecto invernadero es malo cuando sin él la temperatura media del planeta sería de -33 ºC?
  - Si el aire que entra en el cuerpo es el mismo que el que sale, ¿para qué respiramos?

PENSAR LAS PRÁCTICAS

En esta sección sugerimos algunas actividades para trabajar, con estudiantes de educación media o superior, algunos de los temas discutidos en el capítulo.

Tal como hemos afirmado, es muy difícil indagar las ideas previas de los alumnos. Además, resulta complejo hacer un uso provechoso de las respuestas. Expondremos a continuación algunas propuestas didácticas en que hemos llevado a cabo estas indagaciones.

I. Modelos de circulación de la sangre con diferentes corazones[3]

Frecuentemente los estudiantes mencionan (antes y después de la instrucción) que la sangre roja va por las arterias y la azul por las venas; que la sangre roja sale del corazón y la azul es la que vuelve; que la sangre llega a un órgano y lo irriga (se vuelca igual que el agua irrigada en el suelo). Los obstáculos en relación con la sangre y su circulación son muchos. Ya mencionamos la "herencia sanguínea"; mientras que Aristóteles (siglo III a. C.) dividió los seres vivos en *anaima* y *enaima*; o sea sin alma (porque no tenían sangre) y con alma (con sangre). Enseñar sistema circulatorio implicará remontar, contracorriente, muchos de estos obstáculos psicológicos y epistemológicos, sin tratar de sumar los didácticos. Por ejemplo, en muchas ocasiones se ven dibujos con "sangre" azul y roja, sin que se explique que es solo una convención gráfica. En este trabajo partimos del conocimiento de que los estudiantes no comprenden la circulación de la sangre. Después de todo, el anatomista griego Galeno (siglo II) consignó un movimiento de ida y vuelta por los mismos vasos, y recién en 1628, Harvey dio una explicación apropiada de la circulación.

Cuando enseñamos el tema, solemos exponer los conceptos, damos una clase sobre los dos circuitos en los mamíferos (o en el hombre) sin reconocer la complejidad de este contenido, y sin notar que los estudiantes tienen modelos previos que funcionarán, según mencionamos, como obstáculos para comprender la nueva información.

En esta actividad nos propusimos que los estudiantes armaran circuitos posibles, aunque no fueran reales (auténticos) y analizaran su funcionamiento.

Actividad 1

Los alumnos se dividirán en cuatro grupos y a cada uno se le dará distintos materiales. La consigna es que cada grupo debe armar un sistema circulatorio con los materiales que tienen disponibles, eligiendo lo que consideren necesario para llevar a cabo la tarea.

[3] Adaptado de Meinardi y cols. (2003).

Cada grupo tendrá a su disposición:

Material común a elección: cánulas de dos colores y dos grosores; óvalos de cartulina que simulen órganos respiratorios (OR); óvalos de cartulina que simulen otros órganos.

Material individual asignado a cada grupo: corazones con distinto número de cámaras (en cartulina).

- *Grupo 1*: corazón con una aurícula y un ventrículo.
- *Grupo 2*: corazón con dos aurículas y un ventrículo.
- *Grupo 3*: corazón con dos aurículas y un ventrículo semitabicado.
- *Grupo 4*: corazón con dos aurículas y dos ventrículos.

El docente recorrerá los grupos discutiendo con los chicos cuestiones como:

- en qué sentido circula la sangre;
- en cuáles cavidades entra o por cuáles sale;
- por cuáles vasos circula (venas o arterias), puntualizando la necesidad de oxigenación de la misma en los órganos respiratorios antes de dirigirse a otros órganos donde cede oxígeno, y remarcando la presencia del circuito doble.

El objetivo es llegar a que construyan un sistema circulatorio que funcione; es decir que cumpla con ciertos requisitos que, si bien no serán explicitados, el docente irá introduciéndolos en las discusiones con el grupo. Estos requisitos serán:

- Que la sangre fluya en un único sentido (para cumplir con los requisitos que siguen a continuación).
- Que la sangre se oxigene en los órganos respiratorios.
- Que la sangre pase por otros órganos para ceder oxígeno y recoger dióxido de carbono.

Al finalizar esta actividad esperamos que: el grupo 1 logre armar un sistema circulatorio similar al que se encuentra en los peces; el grupo 2, uno similar al de los anfibios; el grupo 3, uno similar al

de reptiles, y el grupo 4, al de aves y mamíferos. Sin embargo, en esta etapa no se explicitará a qué grupo pertenece cada sistema circulatorio construido por los alumnos.

Actividad 2

Una vez revisado el modelo con el docente, los grupos realizarán un informe completo de su trabajo, esquematizando cada uno de los sistemas que armaron y señalando cuáles fueron los problemas que fueron surgiendo, y anotando todos los detalles del proceso de modelización, correcciones, dudas, etc. Luego se expondrá el trabajo a los demás grupos.

II. Sistema nervioso[4]

La confusión entre médula espinal y médula ósea ha llevado a decir que, para evitar la enfermedad de la "vaca loca", no se puede ingerir ningún tipo de hueso. Por otro lado, en los libros de texto no se suelen aclarar los diferentes criterios usados para clasificar el sistema nervioso, de manera que los términos: central/periférico, autónomo o involuntario/de la vida de relación o voluntario, simpático/parasimpático, aparecen sin que los chicos puedan atribuirles significado. En esta actividad se intenta indagar qué ideas tienen los chicos sobre el sistema nervioso, antes de ser abordada por primera vez su enseñanza formal.

Actividad

Los chicos, reunidos en grupos, dibujan el contorno del cuerpo de uno de ellos sobre un papel afiche. Luego de una discusión en pequeños núcleos, acuerdan cuáles órganos o estructuras forman parte del sistema nervioso. Posteriormente anotan los nombres de estas estructuras en pequeños papeles e intentan ubicarlas dentro del contorno del cuerpo. Por último los grupos deben unir, en lo posible, las estructuras ubicadas. Para esta representación pueden elegir una

[4] Pagliero, Meinardi y cols. (2000).

serie de materiales facilitados por el docente, por ejemplo plastilina, hilos, porotos, cola vinílica, algodón, marcadores, fideos. Luego del trabajo, cada grupo deberá redactar una explicación de su maqueta y responder: qué representa cada parte y cómo funciona el sistema nervioso. El trabajo finaliza con la exposición de la producción a los demás grupos.

Algunas de las respuestas dadas por los chicos:

- "Por ejemplo nos quemamos y eso pasa a la sangre, de ahí va a las células que se comunican con el cerebro".
- "Acá está el cerebro, el corazón, las células y las venas; no sabemos muy bien, porque no sabemos si las azules son las que llevan o las que traen o si son las rojas."
- "Los nervios no son una parte, te dan, yo una vez reprobé una prueba por los nervios."

La representación de los chicos respecto del cuerpo como una "bolsa de sangre" (porque donde uno se pincha sale sangre), que conecta todos los órganos, se explicitó claramente en las exposiciones.

Esta indagación no solo arrojó luz sobre las concepciones de los chicos sobre el sistema nervioso y los nervios, antes de la instrucción, sino además sobre el sistema circulatorio, un tema trabajado en las clases anteriores.

III. Los mitos populares

El diccionario de la Real Academia Española define el término "mito" como una historia ficticia que condensa alguna realidad humana de significación universal. Los mitos populares muchas veces se establecen como formas de buscar explicaciones a fenómenos naturales. En este sentido, hablamos de mitos para dar cuenta de estas formas de pensar espontáneas, del sentido común, que organizan la experiencia cotidiana, sea describiéndola o explicándola, y se transmiten de manera poco alterada dentro de ciertas comunidades.

Algunos mitos con contenidos biológicos, de los que nos ocuparemos aquí, son erróneos; otros poseen elementos compatibles con la explicación científica, y muchos originalmente daban cuenta de un hecho verídico, pero que en el camino se ha perdido o tergiversado.

Los mitos -como su propia definición indica- suelen representar un conocimiento compartido, no revisado ni confrontado con formas de pensar científicas. Tienen el valor de exponer un modelo de representación del mundo y, por tal motivo, nos resultan esclarecedores de las ideas de las personas.

En nuestro trabajo recopilamos un conjunto de mitos populares con contenido biológico y los usamos para que nuestros alumnos revisaran sus formas de pensar, haciendo explícita una parte de la red conceptual en la que están anclados; el trabajo demanda una reinterpretación de los datos aceptados inicialmente.

Los mitos tienen una génesis fundamentalmente social, aparecen fuertemente influidos por valores y nociones sociales, y de allí que suelen ser muy significativos individualmente. La recopilación de mitos en cada comunidad es más apropiada porque estos serán particulares y comunes de ese grupo.[5] Luego, el trabajo consiste en investigar la veracidad de algunos, desentrañar el peligro que podría ocasionar seguir conductas relacionadas con otros, o notar que muchos se basan en creencias incontrastables. Algunos ejemplos:

1. "El limón corta la sangre"

El escorbuto es una enfermedad en la cual se produce fragilidad de los capilares sanguíneos, lo que lleva a hemorragias graves, que pueden terminar con la vida del enfermo. La vitamina C (ácido ascórbico significa "no escorbuto") presente en los cítricos, entre otros, es fundamental para su curación. De allí puede derivar el mito de que durante el período menstrual no es conveniente que las mujeres consuman limón, porque "corta la sangre".

[5] Se realizó un trabajo basado en esta experiencia, en el que los chicos entrevistaban a familiares y vecinos recogiendo y rescatando los mitos regionales, dando relevancia a la información que podían proporcionar los adultos, sobre todo los más ancianos.

2. "No se puede comer sandía y tomar vino porque se endurece la panza"

La sandía se endurece en contacto con el vino, dentro de un vaso. Lo interesante aquí es discutir si esto representa una prueba empírica válida para extrapolar la conclusión de que lo mismo ocurrirá dentro del estómago. Controles, contrapruebas, puesta a prueba de las hipótesis, pueden formar parte del análisis de este mito.

3. "Los bosques son los pulmones del mundo"

Esta idea muy difundida está arraigada en una analogía que conviene revisar. Los pulmones de un organismo tienen la función, entre otras, de tomar oxígeno del ambiente y liberar dióxido de carbono. Si equiparamos el mundo con un ser vivo, los bosques serían los pulmones en el sentido de que le aportan oxígeno, pero no tomándolo del ambiente exterior sino produciéndolo ellos.

Finalmente, hay un error conceptual en pensar que un bosque aporta mucho oxígeno al ambiente, ya que suele ser una comunidad que gasta lo mismo que consume (fotosíntesis similar a respiración).

4. "Las paltas no contienen colesterol"

Es sabido que los vegetales no poseen colesterol. Pero, ¿las paltas no hacen engordar? Para responder habría que saber qué tipo de ácidos grasos poseen y si estos promueven o no la vía de síntesis del colesterol en el organismo.

5. "El efecto invernadero es malo porque aumenta la temperatura global del planeta"

El efecto invernadero no solo no es malo sino que es imprescindible para la vida en el planeta tal como la conocemos. Lo que es desafortunado es su aumento.

6. "Los propelentes de los aerosoles actuales no dañan la atmósfera porque no contribuyen al aumento del agujero de la capa de ozono"

Los propelentes actuales poseen propano, butano o algún otro gas que se descompone generando dióxido de carbono. Este no aumenta el agujero de la capa de ozono pero sí el efecto invernadero.

7. "Cuando llueve, duelen las articulaciones"

Esto es real, lo interesante es el motivo. Las articulaciones funcionan como barómetros: captan los descensos de presión ya que ocasionan que los huesos se dilaten y en las articulaciones haya mayor rozamiento.

8. "Las cremas con colágeno nutren la piel"

Difícil. El colágeno es una proteína que no atraviesa la piel.

9. "Las enzimas son proteínas"

Hace un tiempo se descubrió que no todas. El ARN tiene propiedades autocatalíticas, lo que generó un cambio de perspectiva en la concepción de qué fue primero en el origen de la vida. Antes se creía que el ADN; ahora, el ARN.

Y a propósito, ¿qué fue primero, el huevo o la gallina?

IV. Los alimentos[6]

Los términos *alimento* y *nutriente* se usan con mucha frecuencia en el aula; sin embargo, los estudiantes, los profesores y los autores de libros los emplean con diferentes sentidos.

Para un docente de biología la distinción entre alimento y nutriente parece clara, sobre todo cuando se refiere a los vegetales: no hay duda de que las plantas fabrican sus alimentos (orgánicos) a partir de nutrientes del suelo (muchas veces dando por supuesto que son inorgánicos). Le proponemos el ejercicio de poner una cruz donde usted considera que corresponde:

Alimentos y nutrientes:

	Comestible	Alimento	Nutriente	Otro
Leche				
Proteínas				
Aminoácidos				
Agua				

[6] Adaptado de *Biología* de Polimodal (Meinardi y Revel Chion, 2000).

Muchos consideran que la leche es un alimento, y las proteínas y sus componentes, los aminoácidos, también. Sin embargo, está claro que las proteínas pueden ser comidas pero no ingresan en las células en esa forma; justamente una de las funciones más importantes del tubo digestivo es la digestión química, o sea, la degradación enzimática de las moléculas complejas como las proteínas, hasta ser llevadas a sus monómeros componentes, los aminoácidos; de esta forma atraviesan las paredes intestinales en el proceso de absorción. Es decir que diferenciar alimento de nutriente puede llegar a ser fundamental para comprender qué ocurre dentro del tubo digestivo.

Si acordamos que las proteínas son alimentos, y sus componentes los aminoácidos son los nutrientes, veremos que esta definición no coincide con la que usamos para las plantas. Dimos por entendido que eran inorgánicos (dióxido de carbono y agua). Por otro lado, si ingerimos directamente aminoácidos, que no requieren ser digeridos para su absorción ¿podemos considerarlos ahora alimentos?

Para resolverlo se puede establecer una relación entre estructura química de lo que se ingiere y la fisiología del sistema digestivo. La condición de nutriente de una sustancia podría estar dada por su tamaño, de manera que todo componente de un comestible (sea el pan, la leche, etc.) que no necesita ser degradado para llegar a las células, podrá ser llamado nutriente, ya orgánico o inorgánico (el agua). Quedan aún cuestiones pendientes: lo que sigue directamente hacia el ano sin ser digerido, como por ejemplo la celulosa en el digestivo humano, ¿puede ser considerado un alimento por su condición de hidrato de carbono complejo? Y las sustancias tóxicas que llegan a las células, ¿son nutrientes?

La definición de nutriente y alimento no nos resulta trivial, porque justamente al establecer las diferencias los estudiantes podrán dar cuenta de los procesos de digestión y absorción.

Finalmente, comprender las diferencias entre digestión mecánica y química puede ser muy complejo también, ya que implica conocer la estructura molecular de los alimentos para distinguir entre la ruptura macroscópica de los comestibles y la molecular de, por ejemplo, una proteína. Una buena analogía o una maqueta pueden ser útiles para trabajar estas diferencias.

6. HABLAR Y ESCRIBIR CIENCIAS

por Andrea Revel Chion*

Los profesores insisten en que los alumnos escriben y se expresan de modos incorrectos, que muestran dificultades para comunicar sus ideas en las clases.

Vivimos, sin embargo, en una sociedad *hiperinformada*, en la que las formas de comunicación crecen y se diversifican vertiginosamente. De estas formas de comunicación participan los jóvenes muy activamente y cada vez a edades más tempranas. ¿Cómo se explica esta contradicción?

Las investigaciones parecen indicar que justamente el problema radica en que se tiende a creer que las habilidades para utilizar las estrategias comunicativas informales pueden ser transferidas a la escuela. Evidentemente, esto no es así; los contextos son distintos y los

* Profesora en Ciencias Naturales y licenciada en Enseñanza de la Biología. Se desempeña como docente en el Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias -CEFIEC- (FCEyN, UBA), en el Instituto Superior del Profesorado Joaquín V. González y en escuelas medias. Su área de investigación es la comunicación en ciencias, en especial con relación a la salud, tema de su tesis doctoral (en curso).

modos de intervenir en ellos también. La comunicación que se requiere en el aula es aquella en que alumnos y profesores desarrollen formas comunes de conceptualizar los contenidos, la naturaleza de las tareas, los objetivos, las acciones a seguir, los modos de identificar y corregir los errores. La comunicación en estos términos podría contribuir a la regulación de los procesos de enseñar y muy especialmente a los de aprender. Los alumnos creen saber ciertos contenidos y pueden demostrarlo en un nivel declarativo repitiendo conceptos, pero fallan cuando deben explicar o argumentar acerca de aquellos contenidos. Entonces, ¿qué tipo de aprendizaje es aquel que no permite explicar los hechos del mundo?, ¿qué valor tiene una serie precisa de repeticiones?

Dedicaremos este capítulo al aprendizaje de las formas de hablar y escribir sobre la ciencia, porque asumimos que el lenguaje cumple en él un rol fundamental. Tal como muestran las investigaciones, la comunicación en el aula, el dominio por parte de los alumnos de las habilidades para expresar sus ideas, la capacidad para identificar la calidad de las propias producciones son insumos fundamentales para mejorar los aprendizajes.

Estas y muchas otras demandas pueden verse en las aulas de ciencias de las escuelas secundarias y también en las de la universidad:

- Explicá en qué consiste el proceso de fotosíntesis.
- Describí los órganos del sistema digestivo.
- Definí salud de acuerdo con la perspectiva de la multicausalidad.
- Escribí un argumento a favor de la despenalización de las drogas y otro en contra de la misma medida.
- Explicá en qué consiste el proceso de fosforilación oxidativa.

El alumnado está habituado a que en trabajos de laboratorio, en los llamados "trabajos prácticos", en las investigaciones y, desde ya, en los exámenes, sus profesores les demanden tareas tales como: justificar, definir, narrar, explicar, describir, criticar, argumentar... El problema reside en que, interpelados acerca de cuáles fueron las instancias de enseñanza en las clases de ciencia en que se abordó el tratamiento de estas habilidades o estrategias, alumnado y profesorado coinciden en que las mismas simplemente no existieron. Si los profesores no dudaran en identificar que ciertas temáticas del

currículo de su materia son ineludibles, es decir, que no deben dejar de enseñarse, resulta al menos extraño el hecho de que sí se acepte la posibilidad de no enseñar aquellos contenidos –los llamados *procedimentales*– con los que los alumnos pueden "hacerse" de los conceptos. Lo que se intenta resaltar es que muchas veces, intentando finalizar los programas, se extreman los esfuerzos en enseñar todos los contenidos conceptuales incluidos en él. La enseñanza del manejo y el dominio de aquellas destrezas cognitivas con las que los alumnos pueden procesar la información, clasificarla, comprenderla y ponerla al servicio de la resolución de problemas, muchas veces no forma parte de aquellas prioridades.

¿Cuáles pueden ser las razones que subyacen en esta decisión? Tal vez se piense que hay una suerte de "innatismo" en la cuestión, es decir, que el alumnado podría llegar a las aulas ya conociendo cómo formular una hipótesis, reconocer un problema, elaborar un texto argumentativo, escribir un informe de laboratorio, etc. O tal vez, subyace la concepción de que estas habilidades podrían adquirirse por imitación, al verlas presentadas a través del discurso del profesor o los materiales de estudio. Sin embargo, tal como muestran las investigaciones, la idea más extendida es la relacionada con el hecho de suponer que estas habilidades se aprenden en las clases de lengua y de allí se transfieren a otras áreas. En los profesores universitarios está extendida la idea de que las habilidades relacionadas con hablar y escribir ya deberían haber sido enseñadas y aprendidas en los niveles anteriores de escolaridad. Y, si bien se muestran preocupados respecto de las dificultades de los estudiantes al momento de escribir informes o *papers*, son pocos los que asumen que estas habilidades deberían enseñarse en contexto, es decir, en las clases de fisiología, química, física o biología celular.

Desde estas posibles perspectivas, lo que parece imponerse es el desarrollo de las temáticas propias de las ciencias, pero ¿no lo son las relacionadas con los procedimientos cognitivos? Por otra parte cabe, creemos, la interrogación acerca de qué imagen de la ciencia se transmite a través de una enseñanza que prioriza o se limita al desarrollo de los conceptos. En la generación del conocimiento científico, se cruzan otros elementos además de las experimentaciones; en efecto, es fundamental el modo en que se construyen las explicaciones y las formas en que se analiza y evalúa su calidad; la comuni-

cación en congresos, jornadas y *papers* para dicha evaluación es un hecho muy importante a través del cual la comunidad científica conoce, contrasta diferentes explicaciones, y acuerda –o no– consensos respecto de cuáles se muestran como las más aceptables. Y, en estas maneras de comunicación, las diferentes formas del lenguaje cumplen un rol central. El lenguaje posibilita que el conocimiento, que se relaciona con haber obtenido determinados datos y haber pensado sobre ellos, se pueda discutir y difundir. Por tal motivo contribuye de manera importante a su construcción (Sanmartí y cols., 1999).

La ciencia que se construye en la escuela y en la universidad debería realzar la importancia de la comunicación y generar instancias en que los alumnos se vean estimulados a comunicar sus ideas. Sin embargo, será necesario que el alumnado aprenda previamente a hablar y a escribir sobre los fenómenos que se abordan y para esto se requerirá dominar ciertas destrezas o habilidades cognitivas. Un problema adicional al hecho de suponer que lo aprendido en las clases de lengua podría transferirse para la elaboración de textos en las clases de ciencias lo constituye el hecho de que muchísimas palabras tienen diferentes significados de acuerdo con el contexto en que se producen y se utilizan. Un ejemplo clásico es el que se refiere a lo que se espera de una argumentación. Mientras que escribir o contar el argumento de una novela o de una película supone la descripción, en las ciencias las argumentaciones son explicaciones acerca de los fenómenos.

Estos supuestos, y otros que iremos presentando, nos animan a afirmar que la incorporación de estas habilidades a los contenidos que se seleccionan y secuencian en los programas y planificaciones es ineludible.

¿HABLAR CIENCIA?

Jay Lemke, en su famoso libro *Aprender a hablar ciencia* (1997), plantea una idea sugerente: considerar que la ciencia es un proceso social –aun cuando quien la haga esté físicamente solo– y que toda vez que hacemos ciencia se adoptan las formas de hablar, razonar y escribir que se han aprendido de la comunidad. Asimismo sugiere que dichas habilidades se utilizan para elaborar argumentos y que estos solamente

llegarán a formar parte de la ciencia en la medida en que se compartan en dicha comunidad. La tesis central de Lemke es que el dominio de una materia especializada como la ciencia es, en gran medida, el dominio de sus formas especializadas de utilización del lenguaje.

Hablar ciencia no será entonces, desde esta perspectiva, hablar *sobre* la ciencia, sino *hacer* ciencia a través del lenguaje; describir, definir, clasificar, informar, hipotetizar, argumentar son, todas ellas, formas de hablar ciencia. La idea se puede graficar con una comparación entre hablar un idioma extranjero y hablar ciencia; este cumpliría el lugar de un segundo idioma. Como la comunicación se basa en los significados de los conceptos, se vuelve mucho más fluida y fácil cuando dichos significados son compartidos. Así, la comunidad hispanohablante de ciertos países de lengua inglesa, por ejemplo, logra comunicarse fluidamente con los habitantes nativos en la medida en que aprende los usos del lenguaje. Aun en situaciones donde se habla la misma lengua, la comunicación se dificulta si el lenguaje no se utiliza del mismo modo, es decir, si las personas dan sentidos diferentes a los conceptos relacionados con un cierto tema. Por esta razón es más fácil comunicarse con miembros de nuestra propia comunidad, ya que los significados, los gestos, las creencias y los valores son compartidos en gran medida.

¿Qué relación podría establecerse entre estas comunidades y una comunidad de aprendizaje como las que conforman profesores y alumnos?

En estas comunidades hay una clara asimetría constituida por el hecho de que los profesores hablan ciencia y los alumnos no -al menos por un tiempo-. Tal como mencionamos, si en una comunidad no se comparten los significados de los conceptos, la comunicación se ve dificultada y esto es efectivamente lo que sucede: los profesores hablan acerca de entidades, procesos y fenómenos que los alumnos -que no hablan ciencia- no comprenden, comprenden a medias u otorgan sentidos diferentes a los asumidos y planteados por el profesor.

¿Cómo se puede entonces salvar esta situación? Dentro de esta propuesta se trata de concebir la enseñanza como un proceso social para introducir lentamente a los alumnos dentro de la comunidad que *habla ciencia*, por medio del conocimiento y el uso adecuado de los conceptos científicos. Enseñar, aprender y hacer ciencia, todos ellos son procesos

sociales: enseñados, aprendidos y hechos como miembros de comunidades sociales grandes y pequeñas (como las aulas). Conformamos dichas comunidades por medio de la comunicación, y comunicamos significados complejos principalmente a través del lenguaje (Lemke, *op. cit.*).

También escribir...

En relación con el trabajo en las aulas, coincidimos con Sanmartí (1995) en que no se trata solo de hablar ciencia sino también de escribirla. Conforme alguien está obligado a plasmar en un escrito sus ideas acerca de un tópico en particular, las mismas se reconstruyen y se reformulan con el objetivo de que sean inteligibles para quien las lee. Si estos escritos se realizan en el marco de las clases de ciencias deben además utilizarse los conceptos científicos que adquieren al usarse una potencia y una comprensión de los alcances de sus significados mucho mayor, al tiempo que se plantean las relaciones semánticas entre los mismos. De este modo se hace necesario revisar y ajustar no solo las ideas sino el modo de expresarlas.

La actividad de escritura exige poner en relación y confrontar los conocimientos previos con las demandas de la situación. En este sentido, cada palabra escrita representa un encuentro y, al mismo tiempo, una lucha con los saberes previos (Sanmartí y cols., 1999).

LA COMUNICACIÓN Y EL IMPACTO EN EL APRENDIZAJE

En el marco de las teorías socioculturales constructivistas[1] del aprendizaje se concibe este como una construcción personal mediada por la interacción con los otros actores del acto educativo, y enseñar y aprender como un proceso de comunicación social entre estos actores, y como una construcción conjunta que comporta la negociación de significados y el traspaso progresivo del control y de la responsabi-

[1] En las teorías socioculturales la relación establecida entre los sujetos y el mundo externo no es directa sino que está mediada por los instrumentos y por los signos que son productos humanos. El uso y el dominio de ambos hacen posible la transformación del mundo interno.

lidad del proceso de aprendizaje del profesorado al alumnado (Jorba y cols., 1998). Esta afirmación resalta el papel fundamental que tiene la comunicación en el aula, ya que la misma posibilita la negociación de los alcances que tendrán las diferentes tareas de producir textos y establecer lo que se espera de dicha tarea.

La comunicación y representación compartida de los objetivos permite a los alumnos seleccionar las ideas que se relacionan de manera relevante con el contenido y con el proceso de la tarea que han de desarrollar; asimismo, los ayuda a dar significado a la información que reciben del profesor y de los compañeros, a representarse las peticiones de trabajo y a orientar y regular la propia actividad (Mauri y Sanmartí, 2000). Una vez que los alumnos comprenden y asumen estos acuerdos y pactos podrán autorregular[2] sus producciones y, de este modo, aumentar su autonomía y el control de su aprendizaje. Asimismo, cuando los alumnos tienen oportunidades para exponer sus producciones escritas u orales y contrastarlas con las de otros, les es posible identificar las fortalezas y debilidades de sus textos, y hacer que sus representaciones evolucionen.

Las investigaciones parecen mostrar que, si lo que se pretende entonces es que mejore la comprensión, por parte de los alumnos, de los textos que se les ofrecen en las clases de ciencias al tiempo que mejoren también sus producciones textuales, es necesario generar instancias de aprendizaje específicas. Las mismas deberían abordar no solo la enseñanza de las diferencias en las tipologías textuales (descripciones, narraciones, argumentaciones, etc.) sino también los modos de autoevaluarlos y autorregularlos. Para ambos propósitos es imprescindible instalar un clima de confianza en el que la comunicación sea propiciada y estimulada.

Aprender en contextos

Tal como hemos comentado respecto de la argumentación, las diferentes tipologías textuales tienen a su vez diferencias de acuerdo

[2] La autorregulación del proceso de aprendizaje supone que el sujeto construye un sistema propio que va ajustando y perfeccionando de modo progresivo, de manera tal de ser cada vez más autónomo en sus procesos de aprendizaje.

con el contexto en que se producen y comunican; así, aprender a realizar una descripción en el ámbito literario tiene fuertes diferencias con hacerlo acerca de un objeto o fenómeno científico. Por tal razón no se puede asumir que se aprendió a argumentar, describir o explicar en las clases de lengua y que los alumnos transferirán dichos aprendizajes a las clases de ciencias.

Investigaciones realizadas en la Universidad Autónoma de Barcelona por el Grupo LIEC (*Llengua i ensenyament de les ciéncies*; Lectura y Enseñanza de las Ciencias) a mediados de los años noventa, con el objetivo de plantear la integración del trabajo lingüístico en los procesos de enseñar y de aprender, en el marco del socioconstructivismo y la autorregulación, arrojaron resultados interesantes que abrieron una línea de investigación sumamente fructífera. Inicialmente, esta investigación reunió equipos de diferentes disciplinas en que se acordó qué alcances tenían las argumentaciones, las explicaciones y otras habilidades cognitivas en cada una de ellas. Más tarde, se implementaron en varias escuelas actividades de aprendizaje lingüístico con el objetivo de que los alumnos adquirieran habilidades para la producción de textos que pudiesen ser transferidas a cualquier área de conocimiento. Los resultados no fueron satisfactorios: los alumnos se mostraron capaces de producir mejores textos pero no exponían progresos en el aprendizaje de los temas en cuestión.

Una de las investigadoras relata:

> Se constataba que para aprender a escribir era prioritario aprender a pensar en clave del área correspondiente y que escribir no podía reducirse a la aplicación de algunas técnicas, a la copia de algunos modelos. Este resultado nos animó a continuar en la línea de considerar que el trabajo lingüístico, el del contenido de las áreas y la comunicación en el aula eran inseparables; debían considerarse de manera conjunta si se quería conseguir algún tipo de progreso en la expresión de los chicos (Jorba y cols., 2000).

Las estrategias para la producción de textos son denominadas entonces *habilidades cognitivo-lingüísticas.*

Las habilidades cognitivo-lingüísticas

Cuando una persona debe aprender alguna cosa lo hace -independientemente del éxito logrado- recurriendo a una serie de habilidades cognitivas básicas tales como analizar, identificar, deducir, comparar, etc., con las cuales procesa la información. La información es abordada entonces con estas habilidades partiendo de lo que se denominan "estructuras de acogida", que son el conjunto de representaciones, conductas y formas espontáneas de razonamiento (Halwachs, 1975). Así, las estructuras de acogida se articulan con el nuevo conocimiento. Algunas de estas habilidades cognitivas básicas se movilizan o activan para la producción de textos: son las habilidades cognitivo-lingüísticas, que fueron denominadas de este modo justamente por su dependencia de los diferentes tipos de textos. Son habilidades de este tipo: definir, describir, explicar, argumentar, resumir, narrar, demostrar.

Podríamos resumir la complejidad que supone del desarrollo de estas habilidades del siguiente modo: el dominio de las habilidades cognitivas básicas para el aprendizaje hacen posible el desarrollo de las habilidades cognitivo-lingüísticas. Estas pueden utilizarse de diferentes modos y, de acuerdo con cómo sean dichos modos, se podrán elaborar textos explicativos, descriptivos u otros tipos. Por ejemplo, para producir un texto descriptivo se debe, al menos, saber cómo definir, cómo describir y cómo resumir, es decir que estas habilidades deben ponerse al servicio de la producción de aquella tipología textual. Si lo que se pretende, en cambio, es producir un texto explicativo, será necesario dominar las habilidades para describir, definir, resumir, explicar y demostrar. La diferencia en las demandas para la producción de uno y otro tipo de textos revela que su aprendizaje supone más dificultades y se constituye en un alerta para los profesores, respecto del tiempo que se debe destinar a su enseñanza. Por otra parte es importante tener presentes estas diferencias -respecto de la demanda cognitiva que suponen para los alumnos unos y otros tipos de texto- a la hora de evaluar, es decir, considerar qué valoraciones y qué informaciones es posible obtener, en relación con el aprendizaje, en el hecho concreto de que un alumno sepa hacer una buena descripción de un fenómeno, o que sea capaz de explicarlo.

EL LENGUAJE COTIDIANO Y EL LENGUAJE CIENTÍFICO

Es innegable que es posible referirse a un mismo hecho científico en el contexto extraescolar y en la clase de ciencias. Los alumnos pueden conversar y expresarse acerca de casos como la extinción de especies o la aparición de epidemias en situaciones extraescolares. Y, obviamente, se ven obligados a hacerlo dentro de las aulas en las múltiples actividades que les proponen sus profesores. ¿Qué diferencias existen entre unas y otras formas de expresión? ¿Y qué diferencias se espera encontrar?

El lenguaje científico es ciertamente muy distinto del lenguaje cotidiano; en principio se caracteriza por su precisión y lo que se ha dado en llamar "empaquetamiento", es decir, que condensa y concentra la información de conceptos muy complejos y tiene además un alto grado de abstracción. La objetividad y la precisión del discurso de la ciencia se basan en un proceso denominado "sustantivación", por el cual los verbos se convierten en sustantivos, tal como sucede con los términos fecundación o neutralización. Los verbos indican procesos, mientras que los sustantivos se refieren a entidades, por lo que un proceso que ha sido sustantivado está refiriéndose a una entidad que consiste en un proceso (Van Dijk, 1978). Por otra parte, el lenguaje científico centra la atención en lo que se hace o se describe (lo pone como sujeto de la oración) y no en las personas que llevan adelante las acciones. Por ejemplo, se consigna: "La enfermedad emergió en los años noventa en Malasia", en lugar de: "Las condiciones económicas y sociales impuestas en Malasia hicieron posible la emergencia de la enfermedad".

Según algunos especialistas esta estructura también evita la aparición de las personas involucradas en la empresa científica, lo que genera una imagen de la ciencia que actualmente es muy cuestionada: precisamente la que resalta los avances y descubrimientos sin la presencia de sus actores, lo que podría contribuir a la concepción de la deshumanización de la ciencia.

Los científicos llegan a esta forma característica del lenguaje utilizando uno muy personal, metafórico, y de características más bien cotidianas que les permite pensar y poner a prueba sus ideas, mostrar y mostrarse aquellas cuestiones acerca de las cuales están

reflexionando. Conforme las ideas se estructuran y se construyen modos de expresarlas, el lenguaje se va transformando, formalizando, haciéndose más preciso y también más riguroso (Sutton, 1997). Por ejemplo, en relación con la génesis de las ideas acerca de la circulación sanguínea, y la estructura y función del corazón, respecto de las cuales no hay polémicas en la actualidad, se utilizaron términos tales como que el corazón es "el sol del cuerpo", o que la sangre "entraba en los tejidos como una esponja" y "se escurría de ellos como el agua en un pantano", como expresó el mismo Harvey.[3]

En este sentido, se plantea que el objetivo, en la educación, no debería centrarse tanto en el uso de un lenguaje preciso, al menos al principio, sino en propiciar que los alumnos comiencen a exponer sus ideas y vayan incorporando y reemplazando en ellas los términos cotidianos por expresiones cada vez más precisas. Para esto es importante mostrar que en el trabajo científico la comunicación -con su consiguiente evolución de las ideas- es un proceso fundamental. Para enseñar hoy en día la naturaleza de la actividad científica, deberíamos poner énfasis en que equipos tales como microscopios, telescopios o espectrómetros no son tan importantes por sí solos. Hablar, "observar" y escribir es tan importante como manipular los aparatos. De alguna manera, el lápiz del científico es más importante que otro equipamiento de laboratorio (Sutton, 2003).

Por otra parte, el lenguaje científico, además de su jerga, tiene ciertas particularidades tales como oraciones condicionales, la forma impersonal -como ya mencionamos-, y una estructura explicativo-argumentativa, entre otras. Este lenguaje no es aquel al que el alumnado recurre para la mayoría de sus instancias de comunicación, es decir, el lenguaje científico se escucha y se utiliza solamente en las clases de ciencias y allí radica entonces la necesidad de ser enseñado, aprendido y ejercitado. Ante estas y otras propuestas didácticas, los profesores argumentan -con razón- que las mismas insumen mucho tiempo de

[3] William Harvey publica en 1628 el libro *Práctica anatómica relativa al movimiento del corazón y la sangre en los animales*, en el que pone en duda las afirmaciones de Galeno -aceptadas hasta entonces- hechas unos 1400 años antes.

clases que se debería restar entonces a otros trabajos. Hay algo cierto en esta concepción y es que enseñar y aprender a hablar y escribir ciencia es un proceso costoso tanto en términos de la demanda cognitiva que exige, como en el tiempo material que conlleva. Sin embargo, si se quiere evitar que los contenidos aprendidos sean inertes, es decir, que no se puedan movilizar, es necesario asumir el tiempo que demanda la enseñanza de las habilidades cognitivo-lingüísticas. Los conocimientos deben estar al servicio de resolver problemas y comunicar los análisis y pasos seguidos. Es importante no solo la propia resolución de problemas, sino la reflexión sobre el camino seguido, la justificación de las acciones o propuestas, además del análisis de las dificultades que las tareas plantean al alumnado (Jiménez Aleixandre, 2003).

LA AUTOEVALUACIÓN Y LA AUTORREGULACIÓN DE LAS PRODUCCIONES

La concepción que sostiene la importancia del aprendizaje de las habilidades cognitivo-lingüísticas se enmarca en un modelo en el que los procesos metacognitivos y la autorregulación tienen un lugar fundamental.

Para aprender, el individuo no deja de operar con regulaciones intelectuales. En última instancia, cualquier regulación en la mente humana no puede ser sino una *autorregulación*, al menos si se adhiere a la tesis básica del constructivismo, según la cual ninguna intervención exterior actúa si no es percibida, interpretada y asimilada por un *sujeto*. Desde esta perspectiva, cualquier acción educativa no puede sino estimular el autodesarrollo, el autoaprendizaje, la autorregulación de un sujeto, al modificar su ambiente, al entrar en interacción con él (Perrenoud, 2008).

Esta perspectiva conlleva en forma directa a que los profesores vuelvan a pensar los modos en que habitualmente se lleva a cabo la evaluación de los aprendizajes de los alumnos. La detección de los errores por parte del profesor y su comunicación no suele ser suficiente para ayudar a que el alumnado aprenda a regular sus producciones. Esto se debe básicamente a que no se profundiza en

las razones de aquellos errores, es decir, no se promueve que los alumnos comprendan cabalmente por qué razón se han equivocado. En ese sentido, las causas de los errores pueden relacionarse con algunas de estas dificultades[4] (¡o con todas a la vez!):

Los alumnos:

- No se representan el problema planteado.
- No comprenden el texto proporcionado.
- No identifican qué se espera de la tarea.
- No tienen "en mente" los pasos que deben seguir.
- No saben cómo desarrollar lo que se les pide.

Desde las primeras investigaciones en el campo se alerta acerca de la necesidad de generar instancias específicas de enseñanza tanto de la comunicación como de la regulación: por un lado, enseñar a hablar y escribir ciencias, y por otro enseñar a los alumnos a identificar cuándo y por qué se han equivocado; esto es, que aprendan a autorregularse.

En sentido más estricto, apostar a la autorregulación consiste en *fortalecer* las capacidades del sujeto para administrar por sí mismo sus proyectos, sus progresos, sus estrategias frente a las tareas y a los obstáculos (Perrenoud, *op. cit.*).

La heteroevaluación entre pares y la autoevaluación son estrategias sumamente potentes para este aprendizaje. Veamos, en principio, cuál es la relación que se establece entre el dominio de las habilidades cognitivo-lingüísticas, y estas formas de evaluación. Partiendo de la base de que cualquier evaluación se concreta a través del lenguaje, aparece más claro que, para la identificación de los errores y la enunciación de cómo estos se pueden superar, lo que se hace es una descripción de ambos aspectos; al tiempo que, si se identifican las causas

[4] Según algunos modelos de aprendizaje, estas dificultades pueden presentarse aun cuando el alumno conozca el contenido científico, es decir, que las dificultades podrían estar relacionadas con la forma de comunicación; otros modelos plantean que no es posible hablar de un conocimiento del contenido independiente de las formas de expresarlo: pensamiento y lenguaje forman una unidad. Sin entrar en detalle aquí sobre estos aspectos, plantearnos que el desarrollo del lenguaje tracciona de la estructura cognitiva: no es solo una expresión de la misma.

de los errores y se defienden las producciones, se explica y argumenta respectivamente. ¿Qué sucede entonces si los alumnos no han aprendido estas habilidades? Evidentemente las posibilidades de evaluar las producciones de los compañeros y autoevaluar las propias se ven muy dificultadas. Para identificar errores y corregirlos es preciso aprender a evaluar tanto sus contenidos conceptuales como los que se relacionan con las habilidades cognitivo-lingüísticas.

Aun a riesgo de que parezca una obviedad, comentaremos que para instalar estas prácticas de aprendizaje en el aula se requiere -al menos- asumir una concepción del error como un elemento positivo y la generación de un clima de respeto por las producciones y las diferencias entre ellas, un clima cooperativo. Por otra parte, un instrumento sumamente útil para la regulación de las producciones son las bases de orientación: un instrumento que persigue el objetivo de dirigir la acción, a partir de la anticipación, la planificación de las tareas y su evaluación final. La potencia de este instrumento radica en su construcción conjunta con los actores de la clase, es decir, en la negociación de los significados de las tareas que se incluyen en las bases de orientación. La negociación[5] y la socialización de las bases favorecen que los alumnos participen activamente en su construcción y que asuman que sus producciones serán evaluadas a partir de las mismas. Por ejemplo, una base de orientación acerca de cómo se elabora una explicación científica debería incluir:

- El alcance que el grupo acordó que le daría a una explicación, es decir, su definición.
- Qué habilidades o destrezas es necesario implementar; por ejemplo, identificar relaciones entre los elementos que se incluyen en una explicación.
- Qué tipo de oraciones y tiempos verbales se usan.
- Los tipos de conectores a emplear.

[5] La negociación de significados es una instancia de diálogo que persigue el objetivo de establecer acuerdos entre los estudiantes y los profesores acerca de los alcances que tendrán, por ejemplo, las actividades.

Una vez que se ha elaborado una base de orientación, el siguiente paso es "ponerla a prueba". Esto significa implementarla en la producción concreta de una explicación, de manera tal que los alumnos puedan identificar si son capaces de realizar explicaciones de acuerdo con lo que se estableció en la misma. Si se presentan dificultades generalizadas será importante analizar su origen y reformular la base de orientación en vista a los futuros trabajos que se propondrán a los alumnos.

ALGUNAS TIPOLOGÍAS TEXTUALES RELEVANTES PARA EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS

Cuando los profesores enseñan asignaturas científicas suelen recurrir a la utilización de diferentes tipos de textos; así, su propio discurso o el de los libros expone descripciones, definiciones y explicaciones de los objetos y fenómenos a estudiar. Cuando se deben aprender dichos contenidos se requiere la comprensión de las tipologías textuales, pero en el modelo que presentamos es particularmente relevante la producción y comunicación de las mismas por parte de los alumnos. Se considera que la habilidad cognitivo-lingüística más importante en el aprendizaje de las ciencias es la explicación, ya que a partir de la exposición de un texto de este tipo por parte del alumno podría evidenciarse que ha comprendido. Pero, tal como mencionamos, y como puede inferirse del análisis de los textos escolares y universitarios, no existen textos "puros", es decir, que solo describan, solo expliquen o solo argumenten. Por el contrario, a excepción de los diccionarios, que fundamentalmente definen, los autores recurren a unas y otras formas textuales, que intercalan y organizan para exponer sus ideas. Por esta razón es importante que se enseñen habilidades cognitivo-lingüísticas variadas. Algunas de ellas se exponen a continuación.

La descripción

> Citar sucesos sin establecer relaciones entre ellos, al menos explícitamente (Veslin, 1988).

Representar objetos o hechos con palabras, dibujos u otros sistemas de signos (López, 1990).

Producir proposiciones o enunciados que enumeren cualidades, propiedades, características, etc., mediante todo tipo de códigos o lenguajes verbales y no verbales, de objetos, hechos, fenómenos, sucesos, etc., sin establecer relaciones causales al menos explícitamente (LIEC, citado en Jorba y cols., 2000).

Las anteriores son posibles definiciones de la habilidad de describir, propuestas por investigadores en lingüística y en didáctica de las ciencias. La descripción es una habilidad que se pone en acción en la vida cotidiana, sin reflexionar acerca de cuáles son las características que tiene una buena producción de este tipo. Y, más allá de este hecho concreto, lo cierto es que lo hacemos muy bien y desde edades muy tempranas. Contar cómo estaba vestida una persona, cómo fue la comida ofrecida en una fiesta o cómo era el paisaje de un lugar pueden hacerlo aun personas que no han recibido instrucción sobre este aspecto: solo se trata de enumerar cualidades. Las descripciones sobre los objetos y los hechos del mundo son fundamentales en la vida cotidiana porque nos permiten ordenarlos, clasificarlos, categorizarlos, pero cumplen un rol muy importante también en la ciencia.

Si afirmamos que se pueden escribir o exponer textos descriptivos incluso sin instrucción, ¿cuál es la razón por la que afirmamos que se debe enseñar a describir en las clases de ciencias? La respuesta se relaciona con el hecho de la "contextualidad"; en efecto, las descripciones toman algunas particularidades de acuerdo con el contexto en que son producidas y comunicadas. Las descripciones realizadas en el campo de la lengua tienen objetivos concretos y por lo tanto se estructuran de un modo particular y exclusivo. Las descripciones literarias, por ejemplo, procuran no solo informar a los lectores acerca de los atributos del personaje, el entorno en que se encuentra o la situación que está atravesando: la adjetivación persigue el objetivo de motivar al lector, conmoverlo, estremecerlo, atemorizarlo -por ejemplo, en la narrativa de terror-. En cambio, las descripciones en el ámbito de la ciencia persiguen otros

objetivos y, en consecuencia, adquieren otras singularidades. Los adjetivos ya no procuran seducir o atrapar al lector: buscan que él mismo pueda estructurar en su mente una idea clara de los atributos de lo descripto, es decir que, a partir de la enumeración de las características, se tengan tantos detalles como sea necesario. Es cierto que la descripción se realiza en función del modo en que la persona ha estructurado sus ideas acerca del objeto o hecho a describir, pero esto, lejos de suponer un problema, permite identificar precisamente cuán claras son las mismas. En el ámbito de las clases, las descripciones de los alumnos pueden poner en evidencia si adjudican a los hechos u objetos en cuestión las características correctas desde el punto de vista científico. El dominio de la habilidad cognitivo-lingüística de describir deberá incluir que los alumnos identifiquen que, en el contexto de la ciencia, no se espera que se utilicen expresiones poéticas tales como "esplendoroso", "fulgurante" u otras similares.

Veamos algunos ejemplos de las diferencias que adquiere la descripción de acuerdo con el contexto; en primer lugar, dos descripciones extraídas de novelas y, a continuación, una descripción del campo científico.

> Observa la noche desde el segundo piso, la ciudad y su gélida luz blanca, los árboles esqueléticos de la plaza y, nueve metros más abajo, las verjas con sus puntas de flecha negras, como una hilera de lanzas. La temperatura es uno o dos grados bajo cero y el aire es limpio. El fulgor de la farola no ha borrado por completo todas las estrellas; más arriba de la fachada Regencia, al otro lado de la plaza, se ciernen vestigios de constelaciones en el cielo meridional (Mc Ewan, 2005).

> Veo con claridad el pueblo apareciendo en el horizonte, la primera vez que llegué acompañada de mi padre. Habíamos andado varios kilómetros desde la estación y de pronto en una revuelta del camino, en el regazo de dos colinas suaves, allí estaba el caserío pardo amarillento, la iglesia, los dos árboles a la puerta del cementerio. Cada vez que me viene a la imaginación esa estampa me desazona; la soledad de los campos al atardecer, el color morado del cielo que amenazaba tormenta (Aldecoa, 1990).

> Al llegar a marzo de 1995 se habían identificado unos 106 casos de síndrome pulmonar de hantavirus en 20 estados, y más de la mitad de las personas afectadas fallecieron. Los síntomas generales eran: fiebre, dolor muscular, tos, náusea, vómito y jaqueca que duraban entre 4 y 15 días y terminaban por requerir hospitalización. Cuando llegaban al hospital, la mayoría de los pacientes estaban febriles, con baja presión arterial y baja cuenta de plaquetas y mostraban anomalías en los pulmones visibles en los rayos X realizados en el tórax (Oldstone, 1998).

Si comparamos los textos expuestos es posible evidenciar las diferencias en relación con las particularidades que exponen las descripciones de acuerdo con el contexto en que se producen, pero también es posible identificar el hecho de que no hay textos puros, sino más bien una combinación de las diferentes tipologías.

La definición

> Expresar las características esenciales, necesarias y suficientes para que un concepto sea lo que es y no otra cosa (López ,1990).

> Explicar el contenido de un término que se supone desconocido con la ayuda de otros términos que se suponen conocidos (L!EC, citado en Jorba y cols., 1998).

Las anteriores son dos modos posibles de delimitar una definición. Las definiciones son estructuras textuales de una importancia fundamental en las ciencias naturales; obtener una caracterización precisa, clara y breve de los objetos o fenómenos es indispensable para comprender no solo en qué consisten sino qué rol desempeñan en procesos más generales. Intuitivamente se sabe qué significa definir en el ámbito del conocimiento cotidiano, pero en este difícilmente se presenten situaciones en que quien recibe la definición señale que la misma no responde adecuadamente a esa tipología textual. A lo sumo, en el contexto cotidiano quien no comprende exactamente qué se está definiendo pedirá aclaraciones. Si bien es cierto que en ciertas circunstancias, en especial en las exposiciones orales, los profesores pueden pedir a los alumnos las mismas precisiones, en

otras, las definiciones se plasman en trabajos escritos que no permiten que los alumnos aclaren qué han querido expresar. Por otra parte, las definiciones tienen particularidades que las diferencian de la tipología textual más cercana a ellas, la descripción, por lo que los conocimientos cotidianos que permiten hacer definiciones útiles para ese contexto no suelen contemplar dichas diferencias.

Las definiciones se caracterizan por aquello que se denomina "economía de palabras", o sea utilizar casi exclusivamente los atributos que claramente delimitan el objeto, fenómeno o proceso a definir: Para construir una buena definición será necesario elegir aquellas propiedades esenciales e indispensables de lo que se va a definir con el objetivo de que el concepto no pueda ser confundido con otro. Las dificultades más comunes de los alumnos ante esta tarea radican justamente en la precisión que se requiere, lo que se amplifica si las definiciones que deben hacerse son del campo de la ciencia. Las definiciones responden siempre a la pregunta "¿qué es...?", por lo que tener esto en cuenta, actuando como base de orientación, hace posible reconocer si lo que se ha hecho es una definición o una descripción.

Los textos suelen incluir definiciones que muchas veces se acompañan con descripciones y/o explicaciones que, a su vez, suelen ser complementadas con esquemas, gráficos y dibujos, con el objetivo de facilitar la comprensión. Los alumnos suelen creer que conocer la definición de un objeto o fenómeno supone ser capaz de explicarlo, es decir, que ambas habilidades funcionan como sinónimos pero, si bien es muy importante identificar y diferenciar los conceptos de las ciencias, esto no conduce directamente a un conocimiento que haga posible construir una imagen clara de los hechos en que esos conceptos participan. Es importante que los alumnos identifiquen estas diferencias: saber una definición de memoria no conduce de modo inequívoco a la comprensión, es decir, es fundamental que reconozcan que una definición tiene sentido cuando permita hacer con ella algo más que repetirla fielmente.

Estas consideraciones nos animan a sugerir la importancia de que los profesores enseñen a identificar las particularidades de las definiciones y a producir buenos ejemplos de las mismas. Exponemos a continuación algunos ejemplos de definiciones elaboradas en el contexto de la ciencia (Crawford, 2000):

Transcriptasa reversa: enzima que cataliza la conversión de ARN en ADN. La tienen los retrovirus y es necesaria para su integración en el genoma de la célula huésped.

Síndrome de inmunodeficiencia adquirida (sida): deficiencia inmunitaria causada por una infección por el virus de inmunodeficiencia humana que se caracteriza por la aparición de enfermedades oportunistas.

La explicación

Poner hechos o sucesos en relación causa/efecto, o ponerlos en relación con una idea o sistema de ideas (Vestin, 1988).

Producir una o varias razones o argumentos para hacer comprensible un fenómeno, un resultado, un comportamiento, etc. (Duval, 1993).

Modificar un estado de conocimiento presentando un razonamiento que se basa en hechos pertinentes para responder a una pregunta formulada mediante un ¿por qué? o un ¿cómo? (García Debanc, 1994).

Presentar razonamientos o argumentos estableciendo relaciones (debe haber relaciones causales explícitamente) en cuyo marco los hechos, sucesos o cuestiones explicadas toman sentido y llevan a comprender o a modificar un estado de conocimiento (LIEC, UAB, citado en Jorba y cols., 2000).

Explicar algo es haber llegado a entenderlo de tal manera que uno sea capaz de hacer que otro lo entienda (Wartofsky, 1987).

Las expuestas son algunas definiciones posibles de *explicar*. Se considera que la explicación es una de las actividades discursivas más importante tanto en el campo de las ciencias como en el trabajo escolar. Al igual que con otras tipologías textuales, las explicaciones en las ciencias tienen ciertas particularidades, tales como tener en cuenta el marco teórico de referencia y su destinatario. En relación con la primera característica, debido a que las explicaciones tienen la pretensión de dar cuenta de hechos y fenómenos del mundo natural, será fundamental identificar y seleccionar qué ideas, conceptos

y ejemplos de la teoría es imprescindible incluir. Esto supone para los alumnos una demanda extra a la de conocer y dominar cómo se construye un texto explicativo: el conocer la teoría, y por esa razón las producciones de este tipo son un elemento muy potente para evaluar su aprendizaje. Las explicaciones se caracterizan por exponer relaciones de diferentes tipos y por responder a la pregunta: ¿por qué? Justamente, estas particularidades indican que no es posible responder a dicha pregunta con una definición o una descripción. Cuando se pregunta, por ejemplo, "¿Por qué emergió una enfermedad?", será necesario exponer las relaciones que se establecen entre la intervención humana en los ecosistemas y su consecuente alteración; producto de dichas alteraciones ciertas especies animales –reservorios de virus patógenos– se ven obligadas a emigrar y, en ese devenir, toman contacto con animales de granja y sus virus logran finalmente infectar a las poblaciones humanas. La emergencia entrelaza una serie compleja de relaciones que no pueden ser expuestas a través de una descripción o una definición.

Las explicaciones son entonces un tipo de texto bastante más complejo que las definiciones, entre otras razones porque hay que establecer estas relaciones que acabamos de mencionar y, para ello, se requiere utilizar "conectores".[6] Para que un texto sea realmente explicativo debe tener también una correcta ilación, dada en parte por los conectores, lo que evita que sea "telegráfico".

De las reflexiones anteriores se infiere que para el alumnado no es fácil aprender a elaborar explicaciones científicas y que, hasta ahora, los profesores de ciencias no hemos tenido mucha conciencia de la necesidad de promover el desarrollo de estas capacidades en nuestras clases. No obstante, el alumnado ha de llegar a comprender que las ciencias son explicaciones elaboradas con esfuerzo a partir de las experiencias, de pensar, de discutir con los demás y, muy especialmente, de escribir para comunicar las maneras de teorizar (Izquierdo y Sanmartí, 2000).

[6] Los conectores son las palabras que unen las oraciones y que indican la relación que hay entre ellas. Algunos conectores posibles son: porque, ya que, de este modo, así, entonces, por lo tanto, etc.

Veamos un ejemplo de una explicación del ámbito científico:

> Cuando Allison analizó una muestra de sangre de los residentes cuyas familias habían vivido en regiones de África infestadas de malaria durante centurias, encontró una alta frecuencia de la paradójica enfermedad genética que ahora llamamos *anemia drepanocítica*. Mientras algunos individuos morían jóvenes, otros tenían muchas menos probabilidades de debilitarse por el parásito del paludismo. La mutación que provoca la anemia hace que los glóbulos sanguíneos se colapsen en vasos capilares donde liberan oxígeno, lo que impide que los parásitos del paludismo se reproduzcan y se extiendan a otros glóbulos (Nabhan, 2006).

El resumen

Resumen y síntesis son términos que suelen considerarse sinónimos; sin embargo, exponen diferencias que es importante señalar.

Un resumen es la expresión –con pocas palabras– de las cuestiones fundamentales y esenciales de un tema; debe incluir las ideas básicas para que sea posible comprender el tema, por lo cual es fundamental hacer una adecuada selección de las mismas. En este tipo de textos se condensa un tema que se elabora con las palabras de su autor, es decir, se respetan los términos utilizados originalmente, no los de quien resume. Esta es la diferencia básica con la síntesis, en que se utilizan las propias palabras; en este sentido, las síntesis se parecen más a los apuntes que se toman en clase, y pueden incluir una idea propia del redactor.

Las siguientes son algunas definiciones de *resumir*:

> Proceso recursivo de selección y condensación de ideas importantes. Implica capacidad de suprimir (selección de lo que se considera importante), generalizar (condensar listas) y construir (invención y selección de oraciones). La dificultad del resumen varía en función de la persona (representación de la tarea, conocimientos, etc.) y de la tarea (facilidad de acceso al texto, propósito del resumen) (Chou Hare, 1992).

> Realizar a partir de un texto, exposición oral, video, etc., un proceso de selección y condensación de las ideas de más valor estructural,

que se hace de una manera consciente de acuerdo con la tarea propuesta (LIEC, UAB, citado en Jorba y cols., 2000).

La destreza cognitiva para resumir debe ser enseñada al igual que las otras ya descriptas; es útil que los alumnos tomen conciencia de que, para elaborar un buen resumen, es importante realizar lecturas minuciosas del material en cuestión, identificar las ideas principales y recurrir a ellas para construir el texto que es conveniente comparar con el texto original completo.

La argumentación

En el ámbito escolar las argumentaciones pueden ser usadas como sinónimo de las justificaciones ya que, en ambos tipos de textos, se espera que los alumnos construyan un texto basado en el marco teórico presentado en las clases. Este marco es conocido y aceptado por todos los alumnos, de la misma forma que en la comunidad científica el grado de aceptación de los razonamientos depende de su adecuación a la teoría aceptada en el momento histórico en que se presenta la argumentación-justificación.

En las argumentaciones se pretende convencer, a quien las lee o escucha, de que la explicación aportada es mejor que otras, contrastando los puntos de vista opuestos o los de otras argumentaciones con los propios. Las siguientes son algunas definiciones de *argumentar*.

> Justificar una afirmación o una tesis para modificar el valor epistémico que tiene para el destinatario (Duval, 1993).

> Intervenir sobre las opiniones, actitudes y comportamientos de un interlocutor o de un auditorio haciendo creíble o aceptable una proposición (conclusión) mediante otros argumentos o razones (Adam, 1985).

El siguiente es un ejemplo de *texto argumentativo*:

> El juicio debiera ser la primera facultad de la vida superior o de la mente, y sin embargo la neurología clásica (computacional) lo ignora

> o lo interpreta erróneamente. Y, si investigásemos cómo pudo llegarse a una situación tan absurda, veríamos que es algo que nace de los supuestos, o de la evolución misma, de la propia neurología. Porque la neurología clásica (como la física clásica) siempre ha sigo mecanicista, desde las analogías mecánicas [...] hasta las analogías de hoy con los ordenadores.
> Por supuesto el cerebro es una máquina y un ordenador; todo lo que dice la neurología clásica es válido. Pero los procesos mentales, que constituyen nuestro ser y nuestra vida, no son solo abstractos y mecánicos sino también personales [...], entrañan sentimientos y juicios continuos (Sacks, 2009).

Comenzamos este capítulo comentando que vivimos en una sociedad con exacerbadas formas de comunicación; lo que se desprende de esta idea es que no parece ser necesario que la instrucción formal, en sus diferentes niveles, aporte una información que ya está al alcance de casi todos.

En relación con las ciencias, sin embargo, la comunicación cumple un rol muy distinto. La ciencia no es un cúmulo de informaciones, sino que está conformada por modelos complejos construidos y comunicados con reglas lingüísticas propias que forman parte de la cultura, tal como lo hacen las producciones artísticas. ¿Queremos realmente que los alumnos accedan a esta forma de la cultura o la dejaremos reservada para algunos pocos que prosigan estudios superiores en ciencias? Y, para los que efectivamente prosiguen con aquellos estudios, ¿les propondremos aprender y dominar estrategias que les permitan explicar y comunicar adecuadamente las ideas de la ciencia?

Si la respuesta es afirmativa, allí mismo radica la importancia de estos aprendizajes.

PENSAR LAS PRÁCTICAS

En esta sección sugerimos algunas actividades para trabajar, con estudiantes de educación media o superior, algunos de los temas discutidos en el capítulo.

I. Enseñanza de algunas habilidades cognitivo-lingüísticas relevantes

a) En forma individual responder:
¿Qué significa

- describir?
- explicar?
- argumentar?
- definir?

b) Reunirse en grupos de tres integrantes y comparar las definiciones elaboradas individualmente.
c) Buscar en el diccionario el significado de cada una de las definiciones y decidir si se consideran necesarias reformulaciones o correcciones. Analizar el material aportado[7] con los alcances posibles de estas competencias y compararlas con los puntos anteriores.
d) Seleccionar la definición que el grupo considera más sencilla o susceptible de ser aplicada en el trabajo de este espacio curricular. Tener en cuenta que las producciones de la clase se evaluarán con las definiciones acordadas.
e) Analizar cada uno de los siguientes textos e identificar si:

1. Describen.
2. Explican.
3. Argumentan.
4. Definen.[8]

Elaborar un texto para cada una de estas competencias teniendo en cuenta lo que se acordó grupalmente.

[7] El material aportado contiene una lista de diferentes definiciones de cada una de las tipologías textuales.
[8] Los textos deben pertenecer a diferentes fuentes: libros, *papers*, divulgación científica, literarios.

II. Para enseñar cómo explicar

1. Identificar explicaciones en los materiales de trabajo -libros, *papers*- teniendo en cuenta la base de orientación que se haya elaborado en la clase destinada a su aprendizaje en ciencias.
2. Señalar qué atributos indicarían que las explicaciones seleccionadas responden efectivamente a dicha tipología textual.
3. Producir una explicación propia.

III. Cuestionario de heteroevaluación

El siguiente es un instrumento de heteroevaluación destinado a que los alumnos sopesen las explicaciones producidas por sus compañeros. Los ítems a evaluar pueden modificarse o agregarse otros que el grupo considere buenos indicadores de una explicación científica.

Nombre:
Nombre del compañero a evaluar:

En relación con la explicación que elaboró tu compañero, analizá qué supo hacer.

a) Utilizar los argumentos de manera tal de convencer al destinatario.
b) Identificar las ideas teóricas fundamentales para la explicación.
c) Tener en cuenta que el texto no sea "telegráfico".
d) Usar adecuadamente los conectores.

Indicá en el siguiente cuadro para cada uno de los puntos anteriores:

1. No lo supo hacer.
2. Supo hacerlo hasta cierto punto, pero todavía tiene dificultades.
3. Lo supo hacer bien.
4. Supo hacerlo muy bien y podría explicarle a un compañero cómo hacerlo.

Ítems de la explicación	Valores 1, 2, 3, 4	Sugerencias para un compañero
Utilizar los argumentos de manera tal de convencer al destinatario.		
Identificar las ideas teóricas fundamentales para la explicación.		
Tener en cuenta que el texto no sea "telegráfico".		
Usar adecuadamente los conectores.		

IV. Identificación de textos y reescritura

La propuesta consiste en reconocer las distintas tipologías en los textos que se exponen, distinguir si los mismos contienen a su vez diferencias textuales dentro de su estructura, es decir si son textos puros o, en cambio, incluyen diversidad de tipos. Asimismo se propone su reescritura de manera tal de modificar su estructura textual: por ejemplo, podría realizarse la explicación de la descripción de un fenómeno.

> Errores metabólicos: aquí podríamos traer a colación el hecho de que las fibras colágenas de los viejos muestran entrecruzamientos más frecuentes que las de los jóvenes, y son por lo tanto menos elásticas y más duras. Eso trae problemas articulares y vasculares, y distorsionan la función de los órganos. Normalmente, hay proteínas (glicoproteínas) que llevan moléculas de azúcares pegadas en ciertos puntos muy específicos de sus cadenas de aminoácidos. Pero en los viejos el metabolismo se torna chapucero, pega azúcares en lugares "indebidos" que dificultan la eficiencia de las enzimas y distorsionan la marcha del metabolismo. Cuando decimos "es una dulce viejecita", estamos en lo cierto, al menos en lo que se refiere a la cantidad de azúcar en algunas de sus proteínas (Cereijido y Cereijido, 1997).

Queda lo que denominamos las "enfermedades multigénicas". Son afecciones en las que la participación de la herencia es indiscutible, demostrada por estudios familiares cuidadosamente controlados pero donde los mismos síntomas pueden ser producidos por distintos defectos que afectan a genes distintos. Si se piensa bien, no es sorprendente. Los procesos fisiológicos requieren casi siempre la intervención de las "cascadas", en las que la enzima E eliminará un pedazo de la proteína P, haciéndola así capaz de asociarse a un receptor R que, por ello, producirá la síntesis de una hormona H (y así sucesivamente). La desactivación de un solo elemento de este conjunto detiene el mecanismo. Y puede provocar una disfunción grave del organismo, una enfermedad cuyos síntomas serán similares, sea cual sea el nivel en el que se sitúa la interrupción de la cadena (Jordan, 2001).

7. EDUCACIÓN EN AMBIENTE Y SALUD

por Elsa Meinardi, María Victoria Plaza*
y Andrea Revel Chion

En el capítulo 1 nos preguntamos si es posible una enseñanza interdisciplinaria de las ciencias. E inmediatamente respondemos: "Creemos que no". Exponemos las razones que nos llevan a esta negativa y luego esbozamos una serie de ideas generales sobre una propuesta que intenta acercar alguna solución al problema de cómo saldar la brecha que se genera entre el "reduccionismo conceptual" en un extremo y la "interdisciplina unipersonal" en el otro.

Para los docentes que abordamos contenidos referidos a problemas ambientales y salud en el aula, este es un problema clave. Planteamos en ese capítulo que no se trata de introducir nuevos contenidos sino de ampliar el marco de análisis de los temas, para lo cual sugerimos la construcción de unidades didácticas organizadas en torno de un tema al que se le incorpora la perspectiva multidimensional.

* Licenciada en Ciencias Biológicas. Actualmente se encuentra cursando el doctorado en Ciencias Biológicas en la FCEyN (UBA) sobre Educación Sexual. Se desempeña como docente en la materia Didáctica Especial y Práctica de la Enseñanza I y II en el CEFIEC, perteneciente a la misma facultad.

AMBIENTE Y SALUD. UNA RELACIÓN INSEPARABLE

El investigador canadiense Jean Lebel, en su libro *Salud, un enfoque ecosistémico*, afirma que la salud humana no puede ser considerada de manera aislada. Depende enormemente de la calidad del ambiente; para que la gente esté sana se necesita un ambiente sano:

> El impacto de los factores ambientales en la salud humana ya está bien establecido. En África del norte, por ejemplo, el 70% de las plantas silvestres tiene uso doméstico, tanto para medicina como para alimentación. Pero, a pesar de su importancia, las selvas africanas, que cubren el 22% del continente, perdieron 50 millones de hectáreas entre 1990 y 2000. Por su parte, América latina contribuyó con 190 de los 418 millones de hectáreas de selvas perdidas en todo el mundo durante los últimos 30 años. La pérdida de diversidad biológica asociada con semejante desaparición puede tener consecuencias directas en la salud humana, porque el 75% de la población usa medicinas tradicionales, derivadas directamente de los recursos naturales (Lebel, 2005).

El enfoque ecosistémico en salud humana –ecosalud– es nada menos que la ubicación de la humanidad en el medioambiente. Como lo expresa Mariano Bonet, director del programa de rehabilitación de la parte más antigua de La Habana: "El enfoque de Ecosalud reconoce que hay nexos inextricables entre los humanos y su ambiente biofísico, social y económico, que se reflejan en la salud del individuo". Este enfoque estuvo relacionado con el desarrollo global de la ecología durante la segunda mitad del siglo XX. Al comienzo, la ecología adoptó una perspectiva basada principalmente en los aspectos biofísicos de un ecosistema. Algunas personas consideran que la ecología es la manera de restaurar los ecosistemas a su estado primitivo. Actualmente, cada vez con más frecuencia se incluye a las comunidades humanas en la descripción de los ecosistemas.

La predicción de las consecuencias sobre la salud de las múltiples interrelaciones entre los distintos componentes del ecosistema es un gran desafío. La mayoría está de acuerdo en que estas interrelaciones son muy complejas y que abarcan mucho más que los parámetros biofísicos; los científicos tienen que revisar sus métodos

de investigación y abrirse a las nuevas formas de cooperación (Lebel, *op. cit.*). Cada vez se perciben con mayor claridad las estrechas relaciones entre el ambiente y la salud humana. El ambiente, que involucra aspectos físicos, químicos, biológicos y sociales tales como la pobreza, las carencias educativas, la discriminación por cuestiones de género y las prácticas aceptadas y rechazadas en un determinado espacio geográfico y tiempo histórico, genera un impacto directo en la salud y en los modos de concebirla.

Desde el punto de vista educativo, podríamos decir que ambos aspectos, el ambiental y el de la salud, ponen el énfasis en el cambio de actitudes en las personas. Sumado a esto, ambos campos tienen en común el peso que asumen las problemáticas de género. Así como no se puede pensar en una educación para el desarrollo y la calidad del ambiente sin tener en cuenta el papel que desempeñan las asignaciones de género en cada cultura, no se puede imaginar una educación para la salud que no las considere. Por ejemplo, cuando educamos no podemos dejar de considerar que las mujeres son las más afectadas por las enfermedades y la desnutrición durante el embarazo y el puerperio; que en muchas sociedades los servicios de atención a la salud reciben, en su mayor parte, a población masculina, o bien que una causa frecuente de deserción o de bajo rendimiento escolar es que las niñas son las encargadas de cuidar a sus hermanos menores o a sus propios hijos.

El cambio de concepción respecto de la estrecha relación entre la salud y el ambiente conduce a otros modos de pensar la intervención educativa, es decir, a redefinir la educación para la salud y la educación ambiental de manera integrada.

ALGUNAS RAZONES PARA ABORDAR LA PROBLEMÁTICA DE LA SALUD

El lector podría preguntarse por qué hemos decidido incluir, en un libro dedicado a la educación en ciencias, un capítulo referido a la forma en que se concibe la salud y su educación. Esta inclusión merece una explicación.

Por un lado, los debates referidos a los alcances de los modelos involucrados y las relaciones entre ellos tienen lugar en ámbitos muy alejados de las instituciones educativas, por lo que muchas veces llegan a ellas con años de retraso. Es así como, al menos en educación, coexisten modelos ya perimidos con otros más recientes, siendo ambos insuficientes para explicar fenómenos tan complejos como los relacionados con la salud y el ambiente. Por otro lado, esta complejidad genera la necesidad de adoptar enfoques históricos, geográficos y económicos, entre otros, además de los biológicos. Esto redunda en una exigencia superior de la que podría demandar la enseñanza de un tema "disciplinar" propio del currículo que transitó el docente durante su formación.

La confluencia de ambos factores lleva a que, muchas veces, los docentes sigan ligados a los enfoques tradicionales al abordar la educación para la salud, que podrían resumirse en las típicas descripciones de síntomas, formas de contagio y prevención de las enfermedades. Esto es, la salud se aborda desde la perspectiva contraria, la de la enfermedad, contribuyendo a la concepción de la salud como ausencia de enfermedad. Por lo tanto –como corolario–, "si comprendo la enfermedad, su negación me llevará automáticamente a la concepción de salud". Atendiendo a estos aspectos hemos considerado importante aportar algunas reflexiones y sugerencias. En primer término, analicemos su lugar en la escuela y en los centros de formación.

Genera sorpresa el hecho de que muchos estudiantes de medicina, interpelados acerca de cuál es la concepción de salud que asumen, se muestren confundidos ante la pregunta. Algunos manifiestan que su tarea es conocer acerca de las enfermedades y, desde ya, su tratamiento. Sugiriéndoles reflexionar acerca de qué es la salud muchos responden que, en su formación, les han propuesto la definición acuñada por la OMS en el año 1946, cuyos alcances consideran adecuados para el futuro desarrollo de la profesión. Cuando se les pregunta cuál es el lugar que le asignan al ambiente en los problemas vinculados con la salud, la respuesta se limita a relacionar algunas enfermedades con condiciones ambientales tales como la temperatura o la presencia de agua estancada.

En los ámbitos académicos existen debates muy complejos respecto de los modelos de salud y de cómo las maneras de concebir el

problema inciden sobre las formas de investigación, la conformación de los equipos de análisis de las problemáticas y la delimitación o construcción de los objetos, es decir, hay debates epistemológicos y sociológicos complejos (véanse, por ejemplo, García, 2006; Lebel, 2005). Surgen, entre otros, modelos que involucran nuevos conceptos, como el de ecosalud, o se discute acerca de los sistemas complejos. Sin embargo, en el ámbito educativo (en todos los niveles) estos debates atrasan.

La evolución de las concepciones sobre la salud

Hasta alrededor de 1880 se encontraba muy extendida la concepción de que la salud era el resultado de una acción de Dios; para el espíritu de la época, la salud era una gracia divina, un don reservado a los que cumplían con los preceptos de un credo religioso. Por el contrario, la enfermedad resultaba, entonces, un castigo. Variantes anteriores a la tradición judeocristiana sostenían que la enfermedad era el producto de un desequilibrio con el orden cósmico o de un agresor externo "enviado".

Esta primera concepción mágico-religiosa, que sostiene que la enfermedad es el resultado de una falta de armonía con el orden cósmico o divino, se inscribe en una perspectiva *unicausal* (una causa única para la enfermedad), y externa al organismo. En ella, los agentes causantes de enfermedades no son capaces de quebrar el estado de salud como consecuencia de estados debilitados del sujeto, condiciones predisponentes del ambiente o ambos factores a la vez, sino que actúan respondiendo al mandato supremo que busca con la enfermedad indicar la presencia del pecado.

En 1882, el gobernador de Nueva York, durante una pandemia de cólera, declaró: "Dios, infinitamente justo y sabio, encontró apropiado emplear esa pestilencia como medio para castigar a la raza humana por sus pecados" (Aréchiga, 1997).

Otra pandemia, pero ahora en los años ochenta del siglo XX, reavivó en algunos sectores esta concepción: cuando el sida hace su aparición algunos encontraron apropiado afirmar que no era otra cosa que el castigo de Dios ante el creciente número de homosexua-

les. En la primera mitad del siglo XX la explicación mágico-religiosa va dejando lugar paulatinamente –aunque aún persiste en algunos ámbitos y sectores sociales– a un modelo biologicista para explicar el desequilibrio y la aparición de la enfermedad. Desde esta perspectiva la salud será considerada "la ausencia de enfermedad".

La sustitución de las explicaciones sobrenaturales por los entes microbiológicos es el resultado de los avances en el conocimiento de las ciencias naturales; sin embargo, estos no modifican el modelo teórico, ya que la unicausalidad externa explica ahora la enfermedad reemplazando espíritus por virus y bacterias. El desarrollo de la medicina de carácter científico generaliza una visión fisiologista, y las lesiones orgánicas y los trastornos funcionales deben ser objetivables. La metáfora de la máquina se vuelve útil para representar tanto el organismo humano como sus funciones y disfunciones; la enfermedad es vista como el daño ocasionado a la maquinaria y el médico es quien debe repararla.

Sustentado en un paradigma biomédico convencional, el modelo biologicista integrará más tarde los hallazgos clínicos con los datos de laboratorio y los provenientes de la anatomía patológica. El enfoque que lo caracteriza sostiene que todos los aspectos de un organismo se pueden entender a partir de sus constituyentes más pequeños y de analizar, *a posteriori*, la interacción entre los mismos. Este reduccionismo biológico será más tarde criticado en virtud de la exclusión de otros factores para explicar la enfermedad –característica básica del modelo unicausal en el que se inscribe– y por ser ahistórico, es decir, por negarle a la enfermedad su carácter sociocultural. A esta crítica se le sumará la referida a la concepción del médico como mero técnico y no como actor social; solidaria con esta concepción de la labor médica, la salud pública tendrá como objetivo casi exclusivo el *control* de las enfermedades.

En el contexto económico y social se considerará que la salud es aquel estado que habilita a los individuos a desarrollar eficazmente un determinado rol social. Esta concepción está muy ligada a la que, desde una mirada político-económica, considera la salud como un bien económico. El sociólogo norteamericano Talcott Parsons define salud como la condición de capacidad óptima de un

individuo a fin de cumplir con eficiencia los roles y deberes para los que fue socializado. "Si se parte de la noción de que la socialización siempre es guiada y maniobrada por los organismos de poder, se podría decir que la salud termina resultando lo que deciden quienes poseen los medios de producción para explotar a quien trabaja" (Berlinguer, 1994).

En consonancia con esta visión, el tratado italiano de Medicina interna, elaborado por Paolo Introzzi en el año 1966 (*Trattato italiano di medicina interna*, citado por Berlinguer, *op.cit.*), contiene un capítulo dedicado a enfermedades profesionales y a ciertas sustancias que pueden causar tumores de vejiga. El autor plantea en relación con la elección de los obreros:

> El criterio que hay que respetar escrupulosamente es el de destinar a esos trabajos (se refiere a las actividades que pueden desencadenar diversas formas de cáncer) a individuos de edad mayor de 40 años. La razón es clara: estos tumores conducen a la muerte después de 15-20 años de trabajo, y sería un despilfarro destinar a estas tareas a obreros jóvenes, que pueden ser explotados más tiempo. Un cuarentón, en cambio, llega con el tiempo justo: se jubila, y muere enseguida. También el Estado ahorra (Berlinguer, *op. cit.*).

Esta concepción de la salud con una pretensión utilitarista será retomada con fuerza en la década del noventa.

En 1946, y coincidiendo con la finalización de la Segunda Guerra Mundial, la OMS (Organización Mundial de la Salud) acuña la definición de salud como el estado de completo bienestar, físico, mental y social (y no solo la ausencia de afecciones o enfermedades). Esta concepción es para muchos un paso adelante respecto de las anteriores, sin perjuicio de lo cual ha sido objeto de numerosas críticas más recientemente. Por ejemplo, es criticada la afirmación de que la salud y la enfermedad se asocian a un estado puntual, ya que los individuos se mueven y oscilan entre ambos extremos, es decir que es un fenómeno procesual, no puntual. Se critica que la salud no sea considerada como un proceso continuo a lo largo de la vida de los sujetos, un proceso en el que se reestablece el equilibrio perdido a partir de la capacidad de adaptación de los individuos. Se vive en un

ambiente cambiante y, por lo tanto, los estados por los que atravesamos también lo son; es decir, estamos bastante lejos de vivir estados fijos como los que reflejan la definición que analizamos. Por otro lado, se critica la afirmación acerca del posible *completo bienestar físico, mental y social,* aun considerando las sociedades más desarrolladas, con los mejores niveles de asistencia y educación, entre otros. Resulta todavía más inoperante si se piensa en sociedades con claras asimetrías entre sus diferentes grupos sociales; de allí que la idea de un estado sanitario "completo" se torna poco fructífera. No es posible y no existe sociedad alguna en que se alcance ese estado de "completud" al que hace mención la definición de la OMS.

Para algunos especialistas, la vigencia que sostiene esta vieja definición se sustenta en el hecho de que, si bien la propuesta es inviable y de carácter ingenuo, es aceptable en tanto plantea una meta humanista. Otros, por el contrario, sostienen que tal ingenuidad no existe y que su vigencia no es inocua: tiene profundas repercusiones en la medicina actual al obstaculizar la aparición de otro tipo de explicaciones acerca de la salud y de la enfermedad, lo que condicionaría también los posibles caminos para abordarla, de manera tanto individual como colectiva y socialmente.

A partir de la década del cincuenta comienza a identificarse una tibia inclusión de la noción de ambiente en la concepción de salud, lo que podría considerarse como una intención de ampliar los elementos intervinientes en su constitución. Sin embargo, el ambiente parece estar limitado a la idea del sitio físico donde desarrollan su vida los sujetos. René Dubos, médico microbiólogo interesado en cuestiones ecológicas, propone en 1959 que la salud es un estado físico y mental razonablemente libre de incomodidad y dolor, que permite a la persona en cuestión funcionar efectivamente por el más largo tiempo posible en el ambiente donde por elección está ubicado -la noción de estado sigue presente-. Sin embargo, tiempo después Dubos omite la idea de "estado" para enfatizar la de adaptación y hará un aporte fundamental para la reconceptualización de las causas de la enfermedad, al proponer:

> Muy pocas enfermedades tienen una sola causa. Miles de personas son portadoras de microbios de gripe, tuberculosis, infecciones estafilocóci-

> cas y muchas otras. Sin embargo, la inclemencia del tiempo o el hambre, incluso la disensión familiar pueden ser la chispa que haga estallar la enfermedad. Cada enfermedad, de cualquier clase que sea, suele ser consecuencia de una variedad de causas, no de una sola (Dubos, 1967).

En la década del sesenta la perspectiva unicausal comienza a ser revisada, entre otras razones debido a que se vuelven más claras sus limitaciones para explicar los estados de salud y enfermedad. Al mismo tiempo, esta perspectiva pone el énfasis en el diagnóstico y tratamiento de las enfermedades, lo cual conduce a costosas inversiones de infraestructura en equipos y servicios, con el resultado de que solo una pequeña porción de la población accede a ellos, mientras se desatienden las medidas de promoción[1] y prevención[2] de la salud.

Paulatinamente comienza a surgir un modelo multicausal –aquel propuesto por Dubos– para explicar tanto la salud como la enfermedad. En relación con la salud pública, se trata de identificar factores causales y modos de anticiparlos, lo que redundaría en costos más bajos en la atención de las consecuencias, esto es, identificar las relaciones que hacen posible prevenir la enfermedad, identificar la causa y el efecto, y romper la cadena causal sea modificando o suprimiendo algunas de las variables intervinientes. Alrededor de 1965 los epidemiólogos norteamericanos Leavell y Clark proponen, como variante del modelo multicausal, *el modelo de la tríada ecológica* o *modelo causal ecológico* en el cual los elementos causantes de la enfermedad se ordenan en tres categorías o factores: agentes, hospedador y ambiente, interrelacionados en un equilibrio constante; la alteración de uno de ellos provocaría alteración en los otros. Así, un ambiente desfavorecido, como el que carece de servicios de agua

[1] La promoción de la salud consiste en proporcionar a las poblaciones los medios para mejorar y controlar su salud. Aspira a la participación activa de la población por medio de la educación. Se orienta a actuar sobre aquellos factores que determinan la salud, no la enfermedad.

[2] Las acciones de prevención de la salud se clasifican en tres niveles. La prevención primaria persigue evitar o reducir la aparición de enfermedades, por ejemplo, a través de las campañas de vacunación. La secundaria, a partir del diagnóstico y el tratamiento precoz, intenta limitar la enfermedad y evitar complicaciones más severas. La prevención terciaria se aboca a la rehabilitación y readaptación de los sujetos luego de padecer enfermedades y/o accidentes.

potable, puede provocar que el hospedador[3] ingiera agua con bacterias del cólera. A pesar de la intención de establecer las interacciones entre el ambiente y la salud, el modelo es criticado por su desconocimiento de la categoría social, es decir, por exponer exclusivamente una concepción físico-biológica del ambiente.

La visión ecológico-biologicista, a pesar de sus esfuerzos, vuelve a mostrar los factores intervinientes en el proceso salud/enfermedad como ahistóricos, al establecer una especie de ruptura u omisión con los aspectos sociales. Por otra parte, si bien se incorpora el ambiente como parte de la tríada, se persiste en enfatizar lo externo, por lo que, para algunos especialistas, el modelo sigue, solapadamente, adscribiéndose a la vieja unicausalidad externa. Será recién en la década del setenta, tal vez como consecuencia del auge de los movimientos ecologistas y humanistas, que el concepto de ambiente en sentido amplio comience a aparecer de un modo explícito, al tiempo que se reconoce la influencia del entorno social, casi ignorado hasta ahora, en los procesos de salud/enfermedad. El médico italiano Alessandro Seppilli propone, en 1971, que la salud es el equilibrio funcional (mental y físico) que lleva a una integración dinámica del individuo con el ambiente natural y social. Así, paulatinamente se asume que la comprensión acabada del proceso de salud/enfermedad exige la integración de conocimientos de diferentes campos, es decir, se requiere un espacio multirreferencial para su comprensión.

También en esta década se comenzará a enfatizar la importancia de algunos aspectos tales como la realización personal, la felicidad, y la interacción con el entorno social como partes constituyentes de la salud. En 1976, un congreso de médicos y biólogos de lengua catalana propuso que la salud es aquella manera de vivir autónoma, solidaria y profundamente gozosa. Este último aspecto, el del placer, fue solo recientemente reconocido en relación con la educación sexual.

De acuerdo con el análisis que algunos especialistas han realizado de esta propuesta, se podría considerar como autónoma la capacidad

[3] La palabra "huésped" procede del latín *hospes*, y se usa para designar tanto al que alberga como al albergado.

de desenvolverse en la vida con un mínimo de dependencia, al tiempo que aumentan las responsabilidades individuales y de la comunidad en relación con la salud. El término "solidaria" alude a la preocupación por los otros y por el entorno, mientras que "gozosa" remite a una mirada optimista acerca de la vida y las posibilidades de disfrutar de ella. Para esta misma época algunos investigadores, entre ellos Breilh, Berlinguer y Laurell, proponen el modelo *histórico social* en el que enfatizan, por primera vez, la estrecha relación existente entre la salud, la enfermedad y el contexto histórico y social, incorporándolo al análisis epidemiológico. Denuncian así la ineficacia de la prevención y del control de las enfermedades, de mantenerse las relaciones de explotación que las generan.

En 1985, manteniendo este espíritu, la Oficina Regional para Europa de la OMS propone que la salud es la capacidad de realizar el propio potencial personal y responder de forma positiva a los retos del ambiente. A fines de los años ochenta e inicios de los noventa se retoman algunas antiguas posturas economicistas que reconocen el capital humano como una pieza clave; consideran la salud un insumo para la producción económica de un país y a las personas fundamentalmente como agentes productivos. Este modelo, denominado *económico,* asume que la salud pasa a ser aquella capacidad óptima a fin de desarrollar con eficiencia los roles para los que los individuos han sido socializados. En esta línea, la salud es un bien de capital productivo que genera el crecimiento económico y es determinante del capital humano, es decir, habría una doble connotación: como bien de uso y como bien de inversión. Se espera que la salud de la población, al ingresar al mundo laboral, se mantenga en aquel estado en que le sea posible trabajar y producir.

Contrariamente a estos enfoques, la perspectiva multicausal y multirreferencial se sustenta en la necesidad de la inclusión de los determinantes biológicos, sociales, políticos, etc., cuando se intenta explicar, por ejemplo, la emergencia de enfermedades en el pasado o en el presente. La pretensión es alertar acerca del hecho de que no se puede limitar o suplantar el aporte de aquellas áreas que tradicionalmente han encarado el estudio de las enfermedades, sino que el problema reside en lo que algunos denominan "exceso de ciencia", es

decir, un enfoque demasiado estrecho. Entonces lo que se ofrece en cambio es un enfoque dinámico, sistémico y crítico, al que se suman las ciencias sociales.

La salud es un problema complejo... acordar una definición también

El concepto de salud se caracteriza por poseer ciertos atributos y alcances que dificultan acordar una definición. El término salud es implementado en situaciones y contextos muy diversos en los cuales su alcance y su significación también varían. Es utilizado naturalmente en los contextos de la medicina, pero también en las escuelas, en el ámbito personal y, como hemos analizado, también en los referidos a las políticas económicas y sociales. Ciertamente sus alcances pueden ser muy diferentes en cada uno de estos ámbitos.

En relación con el contexto médico, parece privilegiarse la noción que concibe la salud como un hecho objetivo, a través de observaciones provenientes de los estudios anatómicos, fisiológicos, bioquímicos, moleculares, etc. Estos datos suelen ser analizados en forma aislada de la historia y de las consideraciones culturales y sociales. La enfermedad no es vista como algo que se reconoce como tal en relación con los patrones de la cultura dominante. Probablemente la obesidad y ciertas adicciones sean el ejemplo más contundente de cómo han sido consideradas patologías o no, a lo largo de la historia y, por lo tanto, cómo han ido modificándose las intenciones de las personas de reconocer e intentar modificar aquellos patrones en virtud de lo que se considera esperable, normal o saludable en un momento.

En el plano socioeconómico, lo que se considera saludable tiene connotaciones muy particulares que muchas veces no coinciden con las percepciones personales. Las exigencias de los estudios preocupacionales que determinarán el acceso o no al mercado laboral son un ejemplo de esta disonancia. En estos ámbitos, la salud se relaciona con el desarrollo eficaz de roles desde la perspectiva de la producción económica. Por ejemplo, una persona puede ser rechazada por el solo hecho de ser mujer (o varón). Sería posible ampliar el análisis

de aquellos ámbitos en los cuales se exponen concepciones diferentes de salud como ejemplo de las dificultades que históricamente se han enfrentado -y se enfrentan- en acordar una definición.

El ámbito escolar y el de la formación de profesores no están exentos de las dificultades para adoptar una concepción de salud que pueda explicar adecuadamente tanto la emergencia de enfermedades como los modos de intervenir, prevenir y promover la salud de las poblaciones. Creemos que en relación con la enseñanza, al menos en la formación de profesores y en la escuela media, la concepción que se constituye en la más potente para lograr estos fines es la que menciona explícitamente el ambiente en sentido amplio, de manera tal que se evidencia que la salud de las poblaciones está condicionada por la forma en que se interviene en él.

La afirmación acerca de que la salud está condicionada por el ambiente podría ponerse en duda cuando se trata de enfermedades de origen genético. Efectivamente, se impone una aclaración. Para el caso de las enfermedades infecciosas tales como el sida, la peste negra medieval o ciertas encefalitis que hicieron su aparición en Malasia en los años noventa, su emergencia se explica a través de la intervención de las sociedades humanas en los ambientes mediante muy diferentes prácticas que, persiguiendo diversos objetivos, han provocado el acercamiento de microorganismos patógenos con el hombre. ¿Cuál es entonces el significado que le damos a la afirmación de que el ambiente condiciona también la emergencia de enfermedades de tipo genético?

Desde la perspectiva que asumimos y proponemos para la salud, el ambiente social y cultural tiene una estrechísima y determinante influencia: entonces el ambiente condiciona todo tipo de enfermedades a partir de los modos en que las sociedades han actuado sobre ellas a lo largo del tiempo. Así, el tantas veces no ponderado ambiente social condiciona las formas de tratamiento, intervención e integración de quienes portan enfermedades de tipo genético. La salud de las personas con anomalías genéticas será claramente diferente si se enfatiza qué son capaces de hacer y no aquello de lo que quedan excluidas, si se potencian capacidades o se aceptan como inamovibles las limitaciones que tradicional e históricamente

se le han adjudicado a la enfermedad. Es en este sentido en que resaltamos el impacto del ambiente en la "emergencia" de las enfermedades de tipo genético.

En el contexto del enfoque sobre la educación en ambiente y salud, trataremos en particular, en el siguiente apartado algunos aspectos referidos a la educación sexual, y en la última parte de este capítulo nos dedicaremos de manera más extensa a la educación ambiental.

EDUCACIÓN SEXUAL. UN REPASO DE SU HISTORIA

La historia de la educación sexual tal como la conocemos hoy tiene sus comienzos en la década de 1960 cuando se sucedieron ciertos acontecimientos que produjeron una verdadera "revolución sexual". El primero es el movimiento *hippie* en Estados Unidos, ya que sus ideas respecto del concepto de familia y del matrimonio como institución no natural tuvieron una fuerte influencia en esta revolución. Al mismo tiempo, los acontecimientos ocurridos en Francia durante la primavera de 1968, conocidos como el Mayo francés,[4] con sus ideales respecto de la libertad sexual –entre otras reivindicaciones que incluían abrir la universidad a la sociedad entera–, también muestran el estado de ánimo de la época respecto de los derechos sexuales de la ciudadanía. Sumado a estos, un acontecimiento representa un hito en la historia de la sexualidad humana: la aparición de las pastillas anticonceptivas como método de regulación de la natalidad.

Las pastillas anticonceptivas otorgan a las mujeres la posibilidad de decidir cuándo tener hijos y, por lo tanto, permiten separar las relaciones sexuales de la reproducción. La consecuencia es que las mujeres puedan tener relaciones sexuales fuera del matrimonio sin

[4] El *Mayo francés* fue un movimiento de estudiantes y trabajadores de fábricas caracterizado por una sucesión de huelgas y protestas espontáneas que marcaron la historia contemporánea de Francia. Entre sus consignas de lucha planteaban el reconocimiento de los derechos de la mujer, la liberalización de las costumbres, la democratización de las relaciones sociales y generacionales y la destrucción del autoritarismo en la enseñanza.

riesgo de embarazos no planificados. Este nuevo comportamiento sexual posibilitó romper "el cerco del deber ser", formado por los preceptos que la población debe observar: la heterosexualidad, el sexo exclusivamente matrimonial, sexo con objetivos reproductivos dentro del matrimonio, y fidelidad y monogamia como requisitos inseparables (Aller Atucha, 1995).

Entre los años setenta y ochenta se crearon varias organizaciones dedicadas al tratamiento de la educación sexual y al debate sobre el tema en congresos internacionales y seminarios. Médicos, educadores y otros actores sociales comienzan a hablar de una nueva educación sexual, la que, unida a la "revolución sexual", resultó más abierta en sus planteamientos que la anterior, aunque los temas a los que se hacía referencia en esa época versaban básicamente acerca del sistema genital humano, de las enfermedades venéreas (posteriormente denominadas ETS –enfermedades de transmisión sexual– y actualmente ITS –infecciones de transmisión sexual–) y la utilización de los métodos anticonceptivos. Este campo de educación sexual se basó en primera instancia en transmitir información, quedando muy alejado de lo que hoy entendemos como educación sexual integral –que desarrollaremos más adelante–, en la que se intenta trabajar sobre las actitudes de los alumnos y en el análisis de la información que reciben desde diferentes fuentes.

Durante las décadas siguientes, distintos países de América latina comenzaron a discutir sobre los derechos sexuales de sus habitantes y sobre los derechos a recibir una educación sexual. En la Argentina, antes del año 2002 muchas de las provincias ya poseían leyes o programas sobre salud sexual y reproductiva.[5] En la mayoría de los casos fueron planteadas con el fuerte impulso y monitoreo de la sociedad civil a través del trabajo de organizaciones no gubernamentales (ONG). El desarrollo de estos programas locales en cierta forma presionó para que se tratasen estos temas a escala nacional. Finalmente, el 30 de octubre de 2002 se sanciona, en la Argentina, la

[5] La salud sexual y reproductiva (aunque no se especifica en la ley) implica el derecho a tener relaciones sexuales gratificantes sin coerción, sin temor a infecciones o a embarazos no deseados, con la posibilidad de regular la fecundidad, el derecho a un parto seguro y sin riesgos, y de dar a luz y criar niños saludables (Rosales y Villaverde, 2006).

Ley Nacional Nº 25.673 de Salud Sexual y Procreación Responsable, en la cual se tienen en cuenta -por primera vez- los derechos sexuales y reproductivos de las personas.

Hacia una ley de educación sexual integral

Hace varios años, en la Argentina existían dos prácticas predominantes de educación sexual. Una de ellas se basaba en la enseñanza, por parte del docente de biología, de contenidos que incluían los métodos anticonceptivos, los sistemas reproductivos de varones y mujeres, y la planificación familiar. Otra práctica muy generalizada, y en algunos casos combinada con la anterior, consistía en invitar a un profesional de la salud para que diera charlas sobre estos temas. De esta manera se cumplía con la formalidad de "dar educación sexual" en la escuela (Meinardi y cols., 2008a, b). Estas acciones, aunque bien intencionadas, están muy alejadas de la educación sexual que se espera hoy en día para los jóvenes. Actualmente se considera que la misma debe hacerse a partir de una acción de intencionalidad educativa, a través del desarrollo de una estrategia de enseñanza sistemática basada en la información y en el análisis de la misma con los alumnos. Es decir, se trata de generar una conciencia en los jóvenes respecto no solamente del uso de anticonceptivos, sino también del cuidado personal, del respeto por todas las personas sin discriminar su condición social, la elección de su pareja sexual o la elección de género, entre otras.

Esta perspectiva acerca de la educación sexual se fue incorporando recientemente en algunas aulas de la Argentina por decisión de los docentes, pero luego de la sanción, en 2006, de la Ley Nacional de Educación Sexual Integral, el profesorado está obligado a tratar estos temas. La ley, por un lado legitima lo que, en algunos casos, ya se venía haciendo en materia de educación desde hace unos años y, por otro, limita lo que se puede hacer y decir dentro de los contenidos referidos a la educación sexual. Anteriormente el profesorado podía informarse sobre estos temas por iniciativa propia, pero actualmente, como consecuencia de la ley, se encuentra en la obligación de hacerlo, ya que se establece "que todos los educandos tienen derecho a

recibir educación sexual integral en los establecimientos educativos públicos, de gestión estatal y privada de la Argentina".

Recién en el año 2008, dos años después de sancionada la ley, se publican los *Lineamientos curriculares nacionales para la educación sexual integral*. En este documento se proponen los contenidos que deben tratar los docentes en sus aulas y la forma en que deben enseñar educación sexual. El cumplimiento de la ley busca fortalecer las capacidades de los niños y adolescentes para asumir una vida plena, que contribuirá a la prevención de infecciones de transmisión sexual y VIH-sida, tal como recomienda el Comité de los Derechos del Niño en lo referido a la inclusión de contenidos de educación sexual, de prevención de VIH-sida y de salud reproductiva en los programas escolares.

La educación sexual constituye una oportunidad para que la escuela, en articulación con otros actores, comience a buscar y ofrecer respuestas eficaces a situaciones de vulneración de derechos, como la violencia, el abuso y el maltrato contra niños y adolescentes. Asimismo, el tratamiento de estas temáticas en la escuela también contribuye a la tarea de eliminar todo concepto, prejuicio, estereotipo o práctica basados en la idea de superioridad o inferioridad entre las personas, independientemente de su identidad sexual (*Lineamientos curriculares nacionales para la educación sexual integral*).[6]

En líneas generales, una educación sexual "integral" implica la articulación de aspectos biológicos, psicológicos, sociales, afectivos y éticos. Estos mismos elementos se encuentran en la construcción de la sexualidad humana, un proceso mediante el cual cada persona incorpora y elabora un conjunto de pautas, expectativas, conocimientos, creencias, valores, normas y actitudes que regulan el ejercicio de dicha sexualidad. La educación sexual integral trae aparejada una transformación de la cultura, la cual no responde simplemente a una modificación cognitiva, sino que implica una modificación en la dimensión ética de las personas. Esta transformación propone un cambio en la estructura misma de la educación inicial y media, y en

[6] Se puede leer el documento completo en <http://www.me.gov.ar>.

la formación docente, poniendo el acento en el marco institucional en que esta se lleva a cabo. Las universidades y centros de educación superior son responsables de la formación de estos sujetos, hombres y mujeres, que estarían llamados a producir una transformación cultural actuando desde el ámbito educativo (Araujo, 2005).

Sin embargo, y a pesar de reconocerse esta situación, luego de cuatro años de sancionada la Ley de Educación Sexual Integral, no se ha generado en las universidades y centros de formación en educación superior un currículo formal sobre educación sexual.

Educación sexual integral para todos

A partir de la sanción de la ley nacional se le pide al maestro que su mirada frente a la sexualidad sea integral y sin prejuicios. Pero el docente que trabaja en educación sexual debe realizar una tarea a dos puntas: una externa hacia los demás y una interna hacia sí mismo. Si bien su objetivo fundamental es trabajar sobre las "actitudes" de sus alumnos, permanentemente pone en juego sus propias representaciones o concepciones sobre la sexualidad, y, al mismo tiempo, sobre la educación sexual deseable; concepciones que van a signar su actuación frente al estudiantado (Barron y Jalil, 2005).

Cada grupo de alumnos posee diferentes tabúes y prejuicios relacionados con la sexualidad, lo cual exige al docente un mayor conocimiento del tema y de las estrategias didácticas que se necesitan para cada grupo, ya que los contenidos de educación sexual deben ir modificándose según estas necesidades. También le exige, de alguna manera, estar bien con su propia sexualidad para hablar de estos temas con sus alumnos. Es una necesidad impuesta por el mismo contenido para evitar en el aula que el docente asuma implícitamente posturas personales cuando se están discutiendo temas polémicos. Es decir, el docente que trata la educación sexual en el aula debería rever sus concepciones o representaciones sobre sexualidad (Pacheco Silva y Pacheco de Carvalho, 2005).

Nos parece importante aclarar dos conceptos que muchas veces se confunden: sexo y género. A grandes rasgos, el término *sexo* se refiere a la diferencia entre machos y hembras (perspectiva bioló-

gica). En cambio, el término *género* se define desde una perspectiva sociocultural; se refiere a la construcción social y cultural de las diferencias de sexos (Mosconi, 1998). Así, los atributos psicológicos y sociales de varones y mujeres no pueden ser explicados fundamentalmente desde la biología, sino que, al contrario, las relaciones sociales entre los sexos constituyen el principio explicativo fundamental de estos atributos. Esto deja a un lado la ideología sexista, que posee dos postulados básicos: uno es que el sexo biológico es un principio explicativo suficiente de las diferencias psicológicas y sociales entre hombre y mujeres; el otro es que la relación entre los sexos es una relación de complementariedad.

Sexo

Existen numerosas definiciones para el término; las más comunes lo definen como la división de los seres vivos identificados como macho y hembra (sexo biológico) e incluye las características que los definen (masculino y femenino). También se denomina *sexo* al acto de tener relaciones sexuales y a los genitales sexuales externos. El sexo biológico, a su vez, abarca otros tipos de "sexo": el sexo genético se refiere a la presencia de un genoma macho (XY) o hembra (XX) o a las diversas intersexualidades, y se determina desde el momento de la concepción; el sexo gonádico, es decir, la diferencia entre óvulo y espermatozoide; el sexo hormonal, la diferencia entre andrógeno y estrógeno; el sexo morfológico, los órganos genitales externos y/o internos; la diferencia de los caracteres sexuales secundarios y, por último, el sexo que le asigna socialmente el obstetra a la persona al nacer cuando dice si es niño o niña, basado en las características de sus genitales externos.

Desde el nacimiento, la cultura comienza a influir en la forma en que se desarrollará la sexualidad de esa persona, en función de los roles socialmente asignados (sexo de asignación social) y los anhelos y las fantasías determinadas por los valores culturales o personales (sexo psicológico). El sexo de asignación social es el asignado al sujeto al nacer en función de su apariencia externa; es la marca de identificación. El sexo psicológico corresponde a la identidad de género, o

sea todo aquello que se aprende e introyecta para identificarse como perteneciente a algún sexo (Barrón y Jalil, 2005).

Género

No es sencillo definir el término *sexo* ya que depende del contexto en el cual se inserte. Sin embargo, existe uno aun más complejo que actualmente se sigue modificando y cuestionando desde diferentes perspectivas; es el término *género*. En general, se considera el conjunto de atributos psicológicos, de las actividades de roles y estatus sociales culturalmente asignados a cada una de las categorías de sexo, lo cual traduce "macho" en masculino y "hembra" en femenino.

Desde la perspectiva psicológica, el género es una categoría en que se articulan tres instancias:

La asignación de género (rotulación, atribución)

Esta se realiza en el momento en que nace el bebé, a partir de la apariencia externa de sus genitales. Algunas veces dicha apariencia está en contradicción con la carga cromosómica y, si no se detecta esta contradicción, o se prevé su resolución o tratamiento, la persona puede llegar a vivir con un género asignado que no siente como propio.

La identidad de género

Se establece más o menos a la misma edad en que el infante adquiere el lenguaje (entre los dos y tres años) y es anterior a su conocimiento de la diferencia anatómica entre los sexos. Desde dicha identidad, el niño estructura su experiencia vital; el género al que pertenece lo hace identificarse en todas sus manifestaciones: sentimientos o actitudes de "niño" o de "niña", comportamientos, juegos, etc. Después de establecida la identidad de género, cuando un niño se sabe y asume perteneciente al grupo masculino y una niña al femenino, esto se convierte en un tamiz por el que pasan sus experiencias.

El papel de género

Se forma con el conjunto de normas y prescripciones que dictan la sociedad y la cultura sobre el comportamiento femenino y mascu-

lino. Se determina lo adecuado y posible para hombres y mujeres en relación con sus comportamientos, actividades y papeles que tienen en la sociedad. Son formas de ser varones o mujeres que se aprenden desde el nacimiento. Todas las instituciones que transmiten valores -las familias, las organizaciones religiosas, los medios de comunicación y en particular las escuelas- cumplen un papel protagónico en esta cuestión, ya que ellas afianzan continuamente aquellos significados y valores de género.

Desde hace unos años, la sociedad occidental está quebrando los roles sociales establecidos para varones (masculino) y mujeres (femenino) tendiendo a una "igualdad desde la diferencia". Pero hay roles en la sociedad actual que no están establecidos, como es el caso de los homosexuales tanto gays como lesbianas, de los travestis, las transexuales, los hermafroditas, los *intersex*, etc. En algunos casos, son hombres que "deberían" (según lo que muchos esperan) comportarse de manera masculina, pero lo hacen de manera femenina o viceversa; en otros casos, son personas con genitales de hombres pero con cuerpo de mujer afirmando que poseen una "mente de mujer atrapada en un cuerpo de hombre". Los *intersex* son personas que, en algunos casos, poseen ambos genitales (hermafroditas) o tienen la potencia de convertirse en hombre o mujer, y son sus padres quienes en el nacimiento deciden de qué forma criarán a esta persona, es decir, qué roles sociales le asignarán (masculino, femenino o neutro). Este último género se comenzó a utilizar específicamente para los casos de hermafroditismo.

Una educación sexual integral debe incluir a todos, y si bien la perspectiva de género (masculino y femenino) puede resultar difícil, consideramos importante tenerla en consideración: las investigaciones muestran la persistencia de significaciones estereotipadas tanto en el "currículo formal", prescripto por las instituciones educativas, como en el "currículo oculto", constituido por las expectativas de rendimiento y comportamiento hacia mujeres y varones, y en las omisiones sistemáticas de temas relevantes para la vida personal o profesional de las mujeres: el llamado "currículo omitido", que centralmente silencia cuestiones vinculadas con la sexualidad, la violencia o la precarización laboral (Morgade y Alonso, 2008).

EDUCACIÓN AMBIENTAL[7]

A lo largo de los años, el concepto de educación ambiental ha permanecido estrechamente ligado al concepto mismo de ambiente y a la manera en que este es percibido. En su evolución se ha pasado, de considerar el ambiente en sus aspectos biológicos, a hacerlo desde una perspectiva más amplia que integra los aspectos económicos y socioculturales, destacando las relaciones entre todos ellos.

Una de las definiciones más conocidas de *educación ambiental* (EA) es la del investigador y docente norteamericano William B. Stapp, considerado por muchos como el padre de dicha concepción. En ella se señala que la EA está llamada a producir un ciudadano conocedor del ambiente y sus problemas asociados, consciente de cómo ayudar y motivado a participar en sus soluciones.

Probablemente muchos coincidan en el significado de la ecuación ambiental como una educación que tiende a favorecer el ambiente; sin embargo, aún no hemos puesto en discusión cómo definimos eso que esperamos proteger. Y, si bien las respuestas pueden parecer sencillas, nos interesa revisar en este apartado precisamente la concepción de ambiente que sustentamos.

Frecuentemente, las respuestas a la pregunta acerca de qué diferencia existe entre ambiente, medio y medioambiente hacen referencia al ambiente como entorno o como medio que rodea a los seres vivos.

Enrique Leff, coordinador de la Red de formación ambiental para América latina y el Caribe (PNUMA), consigna que el *ambiente* no es ecología más la complejidad del mundo, sino un saber sobre las maneras de apropiación del mundo y de la naturaleza a través de las relaciones de poder que se inscriben en las formas dominantes de conocimiento. El ambiente es una construcción social e histórica, es un modo de entender el mundo, y dicho modo está condicionado por lo que se determina como saber válido en cada momento. A esto llama Leff *formas dominantes de conocimiento*; no se trata de un saber

[7] Basaremos este desarrollo en un texto de nuestra autoría publicado recientemente (Meinardi y González Galli, 2009b).

en abstracto, directamente relacionado con la realidad, sino con lo que cada cultura considera saber, por lo que el conocimiento de la realidad es un conocimiento inmerso en valores. Es lo que cada cultura considera conocimiento de la realidad (Leff, 2001).

Otra definición, que representa la mirada actual, entiende por *medio o ambiente* el entorno que afecta y condiciona especialmente las circunstancias de vida de las personas o la sociedad en su conjunto. Comprende el conjunto de valores naturales, sociales y culturales existentes en un lugar y un momento determinado, que influyen en la vida del ser humano y en las generaciones venideras. Es decir, no se trata solo del espacio en que se desarrolla la vida sino que también abarca seres vivos, objetos, agua, suelo, aire y las relaciones entre ellos, así como algunos elementos intangibles, como pueden ser ciertos aspectos de la cultura.

En estas dos últimas definiciones puede apreciarse, en consonancia con la necesidad de lograr una mirada menos restringida del ambiente, que el énfasis está puesto en las formas sociales de intervención sobre la naturaleza. Y que dichas formas son culturales, históricas y axiológicas (cargadas de valores éticos).

La nueva concepción del ambiente es, quizás, uno de los primeros intentos para lograr un modelo más unificador y poderoso. Con el fin de comprender la diferencia, baste decir que, en este nuevo modelo, el *ambiente* es concebido como un sistema que resulta de la interacción entre los sistemas naturales -formados por los seres vivos y el ambiente físico- y los sistemas sociales. Como puede percibirse, en esta nueva noción se incluyen, además de la mirada biológica tradicional, contenidos sociológicos, geográficos, económicos y otros, vinculados a la comprensión del funcionamiento de las sociedades humanas.

El sistema social tiene sus propias reglas y normas de funcionamiento, igual que el sistema natural. Y en muchas ocasiones ambos interactúan. El ambiente es el resultado de esta interacción y los problemas ambientales podrían ser pensados como emergentes de dicha interacción. Así, la desertización podría ser pensada como un problema propio de los sistemas naturales, mientras que la desertificación (provocada por el hombre) sería la resultante de las formas de intervención de los sistemas sociales sobre un sistema natural.

Según el investigador argentino Rolando García, el estudio de un ecosistema que ha sufrido la acción del hombre, sea por medio de la explotación de sus recursos, o bien por la instalación de asentamientos humanos de diverso tipo, incluyendo las grandes urbanizaciones y las obras de infraestructura, supone la consideración del conjunto de los elementos que intervienen en tales procesos (y de los procesos sociales, económicos, políticos a ellos asociados), de sus partes o factores constitutivos, sus interrelaciones y sus interacciones con otros fenómenos o procesos. Es decir, supone concebir el objeto de estudio como un sistema complejo.

Los componentes de un sistema son interdefinibles, es decir, no son independientes sino que se determinan mutuamente. Los elementos del sistema suelen constituir "unidades" también complejas (subsistemas) que interactúan entre sí. Las relaciones entre los subsistemas adquieren importancia fundamental porque determinan la estructura del sistema.

García menciona el caso del estudio de la introducción del cultivo de sorgo en la región del Bajío, en México. Para realizarlo debieron considerar tres subsistemas o áreas problemáticas específicas: a) ambiente físico; b) agro productivo; y c) socioeconómico.

El subsistema físico requirió referencias a épocas geológicas para comprender algunos aspectos de la naturaleza de los suelos y también se volvió necesario el estudio de la evolución del sistema hidrológico que comenzó en la época de la colonia. El subsistema socioeconómico comprendió elementos como la tenencia de la tierra, mientras que el subsistema agroproductivo marcó el período crítico comprendido en las dos últimas décadas, durante el cual tuvo lugar el gran cambio determinado por la irrupción del sorgo como producción dominante.

Si quisiéramos analizar los cambios ambientales producidos a partir de la introducción del cultivo de soja en la Argentina como agrocultivo predominante en los últimos años, probablemente tendríamos que pensar en el ambiente como un sistema complejo en el cual aparecen más o menos delimitados estos subsistemas, y además introducir elementos nuevos como las leyes de retención de las agroexportaciones, los subsidios a los pequeños productores y el costo de las exportaciones, entre otros, sin mencionar además

los cambios que introduce en las tradiciones de cultivo una semilla transgénica, o el fumigado en exceso de los campos, favorecido por el desarrollo de una planta resistente a herbicidas.

El ambiente no es lo que nos rodea, sino la red de relaciones en la cual nos encontramos, modificando y siendo modificados por ellas. Para simplificar, podemos hablar de un medio natural y de un medio social; sin embargo, desde la perspectiva ambiental el *medio* o *ambiente* no puede ser definido como un sistema formado por elementos bióticos y abióticos (definición aceptable para la ecología), porque no podemos prescindir de las relaciones sociales que lo constituyen.

Las condiciones insalubres de grandes centros urbanos, o el deterioro del medio físico y de las condiciones de vida en extensas regiones son problemáticas complejas donde están involucrados el medio físico-biológico, la producción, la tecnología, la organización social, la economía. Tales situaciones se caracterizan por la confluencia de múltiples procesos cuyas interrelaciones constituyen la estructura de un sistema que funciona como una totalidad organizada, a la cual se denomina *sistema complejo* (García, 2006).

Según algunos autores el trabajo *interdisciplinar*, entendido como una construcción de un nuevo objeto científico a partir de la colaboración de distintas disciplinas, se ha consumado en muy pocos casos de la historia de la ciencia. Al mismo tiempo, cuando leemos acerca de hacer *educación ambiental*, tanto en la escuela como en ámbitos no formales, frecuentemente hallamos propuestas de que los problemas ambientales son contenidos transversales.

Sin embargo, nos preguntamos:

¿Qué significa enseñar un contenido transversal?

¿Cómo debemos encarar en la escuela la enseñanza de un problema ambiental, considerando que la investigación sobre estos problemas implica un enfoque interdisciplinar?

En definitiva, ¿cómo puede enseñar, un docente que está solo en el aula, un tema que implica la conjunción de múltiples disciplinas para su comprensión?

¿Cómo podemos encarar la educación ambiental? ¿Debemos hacerlo desde una perspectiva restringida, sea biológica o ecológica,

o podemos pensar en enseñar un problema ambiental desde una perspectiva más compleja? Y, si optamos por esta última, ¿cuáles son los límites, es decir, cuáles deberían ser los objetivos de esta educación considerando que somos expertos en una única disciplina? Nuestra propuesta consiste no tanto en que el docente de biología -por ejemplo- se transforme en un experto en múltiples disciplinas antes de tratar temas ambientales en el aula ni tampoco que se reduzca a un enfoque meramente biologicista, sino que pueda ampliar el marco de análisis de los problemas ambientales para no caer en un reduccionismo, como mencionamos para el caso de la educación para la salud.

Si coincidimos en que las características del ambiente son, hoy más que nunca, el resultado de opciones y decisiones sociales, económicas, políticas y tecnológicas, más que de las condiciones físicas, químicas o biológicas, aparece la exigencia de un análisis que contemple todas estas condiciones en conjunto. La enseñanza tradicional, parcelada y alejada de la realidad cotidiana de los alumnos, no los prepara para comprender y afrontar los vertiginosos cambios de su realidad circundante y mucho menos para comprender el alcance global de los mismos (Meinardi y cols., 1998). La EA requiere, además de innovaciones conceptuales y metodológicas, un sistema educativo que busque en los alumnos el sentido crítico, la responsabilidad individual y colectiva, la solidaridad y la asunción de principios éticos. Un sistema educativo que tenga en cuenta la experiencia de vida de los alumnos (Meinardi y cols., 2002).

La EA es una propuesta novedosa e integradora que tiende a la construcción, desde las diversas disciplinas y sus didácticas específicas, de una nueva concepción del ambiente. El cambio de perspectiva respecto de las formas de concebir el ambiente tiene profundas consecuencias educativas. La EA implica analizar las complejas relaciones entre los sistemas sociales (culturales, políticos, jurídicos, económicos, etc.) y los sistemas naturales. Sin embargo, no se trata de hacer un trabajo interdisciplinario; la EA, a diferencia de la investigación sobre el tema, no lo es ni puede serlo. Se trata de cambiar el enfoque sobre la educación, de desplazar los contenidos disciplinares para dar lugar al análisis de la multiplicidad de factores e intereses

que convergen en un problema ambiental. No se trata de centrarse en los elementos sino en las relaciones.

Los problemas ambientales reales son complejos; es difícil decir cuáles son las variables más relevantes. Su análisis implica una perspectiva multidisciplinar, lo cual genera debate respecto de la formación de un profesor de ciencias (formación que es disciplinar). También produce debates en torno de la incumbencia de los profesores para tratar ciertos temas en el aula, como ocurre también con aquellos tan complejos como bulimia, anorexia, alcoholismo, tabaquismo, drogadicción, educación sexual, educación para la salud o educación para el consumidor.

Finalmente, podemos agregar a esta lista de obstáculos la escasa información sobre los problemas ambientales relevantes para cada comunidad, lo cual sería un punto de partida fundamental a fin de trabajar estrategias verdaderamente participativas con los jóvenes.

Relato de una experiencia de educación ambiental[8]

El objetivo de la experiencia que relataremos es promover en los alumnos una actitud crítica y responsable en el cuidado del ambiente y de su salud, a través del reconocimiento de sus problemas ambientales y de cómo se relacionan con su bienestar. Esperamos que los aprendizajes promovidos en los jóvenes les permitan apropiarse de sus capacidades como agentes de cambio social.

Se realiza desde el año 2006 en la escuela Nº 2 DE 20 (Villa Lugano), y desde 2007 en la escuela Nº 4 DE 19 (Pompeya); ambas son instituciones de enseñanza media de carácter público de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Es llevada a cabo por docentes de las escuelas mencionadas y el Grupo de Didáctica de la Biología,[9] conformando una comunidad de práctica en un espacio de intercambio y aprendizaje compartido, que conjuga la investigación en didáctica de las ciencias naturales,

[8] Adaptada de Meinardi y cols. (2009a). También puede consultarse un relato más extenso de la experiencia en Meinardi y González Galli (2009b).
[9] Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

la formación de profesores de biología y la intervención en las aulas, materializando, además, la capacitación en servicio de los profesores de la escuela que participan del proyecto.

Describimos la condición institucional que enmarca la experiencia, los fundamentos educativos que la promueven y cómo planificamos su materialización. Se explicitan algunos aspectos relativos al desarrollo curricular en sí mismo y las reflexiones y conclusiones que surgen de la implementación de esta experiencia.

Nuestro trabajo se sustenta en la hipótesis de que la articulación de la investigación didáctica con la formación inicial de los profesores y con la formación continua de los docentes en servicio abre la posibilidad de producir, consensuar y evaluar propuestas de enseñanza contextualizadas en las poblaciones a las que se destinan. De este modo, se transforman los problemas del aula en problemas de investigación, con el objetivo de generar prácticas sensibles a las problemáticas de las poblaciones a las que están dirigidas, persiguiendo como fin mejorar la calidad de los aprendizajes de los alumnos –en especial en ciencias naturales– e incidir sobre la valoración de sus saberes, transformándolos en herramientas de intervención social. Pensamos que la adquisición de una cultura ética, participativa, solidaria y crítica permite a los alumnos colocarse como protagonistas en igualdad de condiciones con el resto de la sociedad.

La formación del equipo de trabajo y la definición de contenidos

Al comienzo del ciclo lectivo formamos un equipo de trabajo entre las investigadoras y las profesoras. La idea era planificar en forma conjunta las acciones para llevar a cabo el desarrollo curricular. Inicialmente, consensuamos que los contenidos de la asignatura debían promover en los estudiantes una actitud crítica y responsable en el cuidado del ambiente y la salud a través del reconocimiento de las problemáticas ambientales que los afectan y de cómo estas se relacionan con su bienestar; así como también fomentar el desarrollo de capacidades que les permitieran participar en la toma de decisiones y de reflexionar críticamente sobre las decisiones que adoptan otros.

Así, comenzamos a seleccionar los contenidos y a planificar las actividades para el año lectivo completo. Teníamos, además, especial interés en que los estudiantes pudieran detectar, relevar y comunicar a la comunidad cuáles eran los problemas ambientales que los aquejan, y su estrecha relación con la salud y la calidad de vida.

La definición de los contenidos de la materia se planteaba como un desafío porque no disponíamos de antecedentes de implementación, es decir, de experiencias en otras escuelas que hayan elaborado e implementado un programa de *ambiente y salud*, ni tampoco de materias similares. Queríamos crear propuestas didácticas que se adaptaran al contexto de los chicos. Por ello, pensábamos que la implementación de las acciones se iría ajustando a medida que avanzara el proyecto de modo de poder interpretar resultados parciales y modificar, en caso necesario, las acciones planificadas.

Breve descripción del desarrollo de la experiencia

A modo de orientación, la planificación ha sido dividida en 17 actividades, algunas de las cuales demandan varias clases para su realización. Los chicos que asisten a las escuelas mencionadas viven, en su mayoría, en barrios con grandes problemas ambientales. Se trata de los barrios Soldati, Piedrabuena, Villa 15 (Ciudad Oculta), Villa Pirelli, Villa Madero, entre otros.

Los problemas se naturalizan y se tornan invisibles; de allí que uno de los objetivos es "cambiar la mirada" de los jóvenes sobre su ambiente, es decir, cambiar las representaciones sobre un entorno social que les resulta familiar, y sobre el entramado de relaciones, valores y acciones que despliegan en él.

El trabajo se realizó en tres etapas que abarcaron todo un año lectivo. La primera, destinada a enseñar los contenidos teóricos; la segunda, dedicada a la elaboración de diagnósticos y relevamientos ambientales. Y una tercera, abocada a la comunicación de los resultados obtenidos. En relación con la primera etapa elaboramos, documentamos e implementamos varias unidades didácticas destinadas a enseñar los aspectos vinculados con el ambiente, la salud, la relación entre ambos y los problemas ambientales de manera general. Procuramos planificar las

actividades de las clases teniendo en cuenta el contexto sociocultural en que se desenvuelven los jóvenes. La segunda etapa se inició a mitad de año. Comenzamos con el relevamiento de las problemáticas locales. Los alumnos, en grupos, buscaron información sobre una problemática elegida, diseñaron los instrumentos para su relevamiento y la toma de datos. Estos datos fueron relevados de sus propios contextos a través de la medición de parámetros ambientales, encuestas y entrevistas a diferentes personas de la comunidad.

Las problemáticas ambientales elegidas fueron: la basura; los animales, en general; los mosquitos, en particular; la calidad del agua; los espacios verdes. Para los chicos fue complejo transferir los contenidos trabajados en la primera etapa al análisis de situaciones cotidianas pero, al ser problemáticas relevantes para sus vidas, lograron un alto grado de compromiso, lo que más tarde los condujo a materializar el relevamiento con muy buenos instrumentos.

El diseño y la elaboración de los instrumentos de relevamiento de cada una de las problemáticas ambientales se realizaron en forma conjunta entre docentes y estudiantes. Se discutieron los indicadores apropiados para la elaboración de encuestas y entrevistas. Estas discusiones promovieron el desarrollo de numerosas y variadas estrategias cognitivas: describir, seleccionar, comparar, evaluar, sintetizar, entre otras. Los chicos se cuestionaron sobre distintos problemas y elaboraron preguntas muy interesantes sobre aspectos naturalizados en su vida cotidiana.

La confección del relevamiento ambiental los llevó a transformar estos cuestionamientos en instrumentos que, más tarde, brindaron información significativa. El análisis de los resultados y la evaluación de las posibles alternativas de resolución de los problemas ambientales trabajados condujeron a los alumnos a detectar los actores involucrados en estas, a quiénes afectan y qué responsabilidad tiene el Estado, entre otras cuestiones.

La última etapa del proyecto tuvo como objetivo comunicar la información a la comunidad escolar y extraescolar, es decir, a los barrios, otras escuelas, el jardín maternal, entre otras. Se previó, además, articular la comunicación de nuestros resultados con otras materias y proyectos de la escuela: taller de radio, lengua, matemá-

tica, murales y videos. La comunicación de la información llevó a los alumnos a elegir qué información comunicarían y cómo lo harían, lo que generó grandes discusiones en los grupos.

Reflexiones sobre la realización de la experiencia

El desarrollo curricular de la asignatura *ambiente y salud* estimuló a los alumnos con actividades que promovieron actitudes críticas y responsables. Estudiaron problemáticas generales sobre la salud, el ambiente y su relación y, también, algunas específicas que los afectan.

Por otro lado, los vínculos entre las instituciones participantes potenciaron la formación de todos los beneficiarios de la experiencia. Al mismo tiempo, los investigadores en didáctica contrastaron las propuestas teóricas que se planificaron con su aplicación. Esto dio lugar a la generación de conocimiento didáctico fundamentado sobre la creación de propuestas destinadas al contexto social antes referido. Además, desde el doble rol de investigadoras y formadoras de profesores de biología, estos resultados aportan a la formación de los formadores de formadores, valga la triple redundancia.

PENSAR LAS PRÁCTICAS

En esta sección sugerimos varias actividades para trabajar, con estudiantes de educación media o superior, algunos de los temas discutidos en el capítulo.

I. La evolución de las concepciones sobre la salud

Una alternativa es proponer a los estudiantes que recolecten definiciones correspondientes a diferentes momentos históricos y luego intentar ordenarlas cronológicamente. Relatar a los alumnos la evolución que ha experimentado el concepto y proponerles que identifiquen a qué modelos (unicausales, multicausales, mágicos, etc.) corresponden las definiciones halladas.

II. Las limitaciones de las definiciones de salud

Las concepciones de salud que se trabajan en la escuela suelen ser extremadamente biologicistas. Así, puede ser interesante proponer a los alumnos que reflexionen y expliciten qué ideas tienen acerca de qué es la salud y qué factores pueden influir en la misma.

Una instancia de puesta en común podría mostrar que suele haber cierta homogeneidad en las ideas que sostienen. Luego, es posible narrar el caso de una enfermedad donde se expongan los diferentes aspectos que se involucran en el mismo (por ejemplo epidemias de cólera o fiebre amarilla en la guerra del Paraguay). Proponer el análisis del caso a la luz de las definiciones que enunciaron y sugerirles que identifiquen qué disonancias pueden llevarlos a reconocer sus alcances y limitaciones.

III. La construcción de un prospecto para un anticonceptivo

El objetivo de la actividad es que los estudiantes construyan información para comunicar a sus pares, acerca de los métodos anticonceptivos, considerando previamente qué información sería relevante para ellos y cómo debe ser presentada a fin de que les resulte útil.

Se entrega a cada grupo de estudiantes un dispositivo de anticoncepción y se les solicita que realicen un prospecto sobre el mismo. El objetivo es que tengan en cuenta qué información es necesaria para la persona que lo usará, por ejemplo, cómo se usa, cuánto cuesta, cuándo se usa, qué tipo de protección aporta, cuáles son sus ventajas y desventajas, etc.

Una vez terminada la tarea, se les facilita el prospecto confeccionado por algún laboratorio (se puede obtener esta información en Internet) y se les pide que comparen ambos prospectos. ¿Qué diferencias encuentran, qué información no fue tenida en cuenta, qué otros datos quisieran que aporte el prospecto (por ejemplo, si se interrumpe el ciclo de administración de las pastillas anticonceptivas, qué se debe hacer, o cuáles son las desventajas de la "pastilla del día después", si previene el contagio de una infección de transmisión sexual, etc.).

Se sugiere hacer una puesta en común donde cada grupo comenta al resto las características del dispositivo que recibió para describir; el prospecto armado por el grupo y el provisto por el laboratorio, qué cosas incluyó en su prospecto y por qué, y cuál ha resultado más útil.

IV. Analizando los roles de género

Nos proponemos que los alumnos puedan analizar los roles sociales que se atribuyen a hombres y mujeres de manera tal que sean "masculinos" o "femeninas", en los mensajes que aparecen en las publicidades de distintos medios gráficos (revistas, televisión) y películas. Luego se podrá pedir que discutan algunas consignas como las que se sugieren a continuación:

- ¿Cómo aparecen las diferencias de género?
- ¿De qué manera estas asignaciones se parecen a las que ven en sus casas, familias o vecinos?
- ¿De qué forma pueden cambiarse estas concepciones culturales de masculino y femenino en caso de que les parezca necesario hacerlo?
- ¿Por qué les parece importante tratar estos temas en los colegios?
- ¿Cuál es su opinión referida a las personas que intentan cambiar su sexo biológico?

V. Analizando la violencia de género

Las asignaciones estereotipadas rígidas de género muchas veces son la base de la violencia de género; por eso, podemos proponer actividades en las cuales se discutan estos temas (sugerimos algunas situaciones que generan controversias):

1. Un hombre no maltrata porque sí; ella también habrá hecho algo para provocarlo.
2. Si una mujer es maltratada continuamente, la culpa es suya por seguir viviendo con ese hombre.

3. Si se tienen hijos, hay que aguantar los maltratos por el bien de los niños.
4. Los hombres maltratan porque tienen problemas con el alcohol u otras drogas.
5. Los hombres que agreden a sus parejas están locos.
6. Los hombres que agreden a sus parejas son violentos por naturaleza.
7. Los hombres que abusan de sus parejas también fueron maltratados en su infancia.
8. La violencia doméstica es una pérdida momentánea de control.
9. La violencia doméstica no es para tanto. Son casos muy aislados. Lo que pasa es que salen en la prensa y por eso parece que ocurre con mucha frecuencia.
10. Lo que ocurre dentro de una pareja es un asunto privado; nadie tiene derecho a opinar.
11. La violencia doméstica solo ocurre en familias sin educación o de pocos recursos económicos
12. Es más aceptable la violencia entre personas cercanas que la que se da entre extraños.

Los dos primeros puntos culpabilizan a la víctima de causar los malos tratos. Hijas e hijos se "utilizan" como excusa para soportar el maltrato (punto 3). En los puntos 4-8 el maltratador no es causante de los malos tratos; se recurre a factores externos que lo justifican. Los puntos 9-11 remiten a la naturaleza estructural de la violencia de género y sus correspondientes implicaciones políticas.

8. LA TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN

por Leonardo González Galli

En este capítulo analizaremos una teoría científica particular, la teoría de la evolución biológica. ¿Por qué elegir esta teoría para profundizar? Son diversos los motivos que sustentan esta elección. En primer lugar se trata de una teoría central para la biología. Esto se debe a que todo sistema biológico es el producto de un proceso de cambio de sistemas preexistentes que llamamos evolución. Así, siempre que nos preguntemos por qué un sistema biológico es como es deberemos remontarnos hacia el pasado para analizar cómo era el sistema anterior del cual deriva. Por ejemplo, no podremos entender por qué los humanos tenemos cinco dedos, y no seis o cuatro, si no nos remontamos a nuestros lejanos antepasados. De este modo, los huesos que estudia el anatomista, los procesos que estudia el fisiólogo o los grupos que estudia el taxónomo son producto de la evolución, por lo que ninguna explicación sobre dichos sistemas estará completa sin una reconstrucción del proceso que les dio origen. Por eso decimos que la teoría de la evolución unifica a toda la biología. Pasemos entonces a analizar algunos conceptos centrales de esta rama de la biología.

LA "PELIGROSA IDEA DE DARWIN"

Además de su posición central dentro de la biología, la teoría de la evolución darwiniana es, muy probablemente, la teoría científica que más ha trascendido su disciplina de origen para modificar las concepciones tradicionales sobre la naturaleza en general y sobre la especie humana en particular. Por eso, el filósofo Daniel Dennett se refirió a esta teoría como "la peligrosa idea de Darwin" y la comparó con un "ácido universal" que penetra en todas las zonas del conocimiento (Dennett, 1995). Este cambio en la visión del mundo, que podemos calificar de revolucionario, comenzó con la publicación de *El origen de las especies* de Charles Darwin en 1859.

Se trata de una teoría necesaria para una comprensión profunda de cualquier rasgo biológico y tiene profundas implicancias para entender cuál es nuestro origen y naturaleza. Desde la perspectiva de la alfabetización científica, la enseñanza secundaria debería garantizar un aprendizaje profundo de esta (entre otras) teoría como parte de una formación necesaria para tener una participación activa y crítica en nuestra cultura. El concepto de raza, la relación entre los factores ambientales y hereditarios en la determinación de nuestros rasgos y las políticas eugenésicas son solo algunas de las cuestiones relevantes cuya comprensión requiere un conocimiento sólido de la teoría evolutiva. Sin embargo, los resultados de la educación obligatoria en relación con esta teoría están lejos de ser los deseados. En muchos países del mundo se ha documentado el bajo nivel de aprendizaje en relación con la teoría de la evolución y la presencia y persistencia postinstruccional de numerosas concepciones erróneas sobre este tema (Jiménez Aleixandre, 2005; Kampourakis y Zogsa, 2007).

Presentaremos una versión de la "teoría sintética de la evolución"[1] que pretende destacar los principios que tienen un mayor poder explicativo. Analizaremos luego el problema del diseño biológico y la teleología, uno de los aspectos de la cosmovisión occidental predarwiniana que

[1] Se denomina "teoría sintética de la evolución" al cuerpo teórico conformado en las primeras décadas del siglo XX cuando un grupo de genetistas, paleontólogos y sistemáticos (Haldane, Fisher, Mayr, entre otros) mostró la compatibilidad de la teoría darwiniana de la evolución con la teoría mendeliana de la herencia (Futuyma, 2005: 9)

más se ha visto perturbado por el darwinismo. Este análisis nos servirá de marco teórico para abordar algunos desafíos que debe enfrentar la enseñanza de la teoría evolutiva, especialmente en Estados Unidos: el "creacionismo" y la "teoría" del diseño inteligente. Finalmente, abordaremos el rol del pensamiento teleológico en la actual teoría evolucionista y relacionaremos este análisis con algunas de las dificultades que encontramos los docentes cuando enseñamos esta fundamental teoría biológica. Aunque estas últimas reflexiones pueden ser particularmente pertinentes para los docentes, creemos que son de gran utilidad para todo lector interesado en los aspectos epistemológicos de la teoría.

LAS GRANDES PREGUNTAS DE LA BIOLOGÍA EVOLUTIVA

Si entendemos que una teoría científica constituye un conjunto de enunciados lógicamente conectados entre sí, debemos comenzar esta sección reconociendo que la "teoría de la evolución" no existe (Thompson, 1989). Esto se debe a que la biología evolutiva pretende dar cuenta de un amplio conjunto de fenómenos, para lo cual recurre a un diverso arsenal de *modelos* teóricos. Desde otra perspectiva epistemológica, podemos pensar que una teoría es un conjunto de *modelos*, es decir, de abstracciones creadas por los científicos para dar cuenta de ciertos aspectos del mundo (Giere, 1992). Así, podemos ver a la "teoría evolutiva" como una "familia de modelos".

En esta concepción destacamos el hecho de que las teorías científicas (cuyos elementos centrales son los *modelos* según la perspectiva que adoptamos aquí) son productos creados con el objetivo de explicar o comprender ciertos aspectos del mundo. Podemos preguntarnos entonces qué interrogantes pretende responder la teoría de la evolución. Detenernos en esta cuestión es relevante desde el punto de vista de la enseñanza ya que, en muchas ocasiones, nuestros estudiantes no comprenden para qué sirve la teoría que les proponemos aprender. Se trata entonces de responder "¿Para qué sirve comprender esta teoría?". Es posible incluso que nosotros mismos, los docentes, no lo tengamos claro en ocasiones. Intentemos responder entonces esta pregunta.

Podemos reducir a dos los conjuntos de fenómenos de los que pretende dar cuenta la teoría evolutiva:[2]

1. El origen de la adaptación biológica.
2. El origen de la diversidad biológica.[3]

La aplicación de los modelos que permiten explicar estos hechos a casos particulares permitiría explicar un tercer fenómeno:

3. La "historia de la vida".

Expresado en forma de interrogantes la teoría evolutiva tendría el objetivo de responder:

1. ¿Cómo se producen modificaciones en las poblaciones que incrementan el "ajuste" entre los individuos y su ambiente (adaptación)?
2. ¿Cómo se originan nuevas especies a partir de especies preexistentes (especiación)?
3. ¿Cómo, cuándo, dónde y por qué se originaron los grupos particulares de seres vivos que conocemos?

De más está decir que de estos grandes interrogantes se derivan infinidad de cuestiones más específicas, por ejemplo: ¿qué causó las extinciones masivas?, ¿qué factores limitan la capacidad de la selección natural para producir adaptación?, ¿cuál es el origen del hombre?, ¿cómo se origina la resistencia de las plagas a los plaguicidas? Por otro lado, plantear la cuestión del origen de la adaptación como una de las grandes preguntas no implica suponer que todos los ras-

[2] Esta propuesta no pretende describir todas las líneas de investigación de la biología evolutiva sino plantear lo que podríamos considerar "las grandes preguntas" de la *teoría sintética*. Por eso no estamos mencionando áreas tales como la *biología evolucionaria* del desarrollo (o "evo-devo") que se enfoca en el estudio de los mecanismos moleculares que subyacen en los cambios evolutivos en los programas de desarrollo (Rosenberg y McShea, 2008: 72).

[3] La expresión "diversidad biológica" tiene diferentes significados pero aquí puede considerarse como sinónimo de número de especies de seres vivos.

gos son adaptativos sino que son justamente los rasgos adaptativos los que más llaman la atención del observador.

En nuestra caracterización nos centraremos en las cuestiones (1) y (2) ya que son las más potentes desde el punto de vista explicativo. Este recorte de la teoría pretende centrar nuestra atención, y nuestro esfuerzo didáctico en el caso de los docentes, en los modelos que gozan de un amplio consenso en la comunidad científica y que permiten explicar los hechos más interesantes para el ciudadano medio.

LA ADAPTACIÓN BIOLÓGICA Y EL MODELO DE EVOLUCIÓN POR SELECCIÓN NATURAL

En esta sección analizaremos el fenómeno de la adaptación biológica y su explicación científica basada en la teoría propuesta por el naturalista inglés Charles Darwin hace ciento cincuenta años.

El "diseño biológico"

La sorprendente adecuación de los seres vivos a su medio, el "diseño biológico" o lo que técnicamente llamamos "adaptación", es sin dudas uno de los más notables rasgos de los seres vivos. Todos conocemos ejemplos de adaptaciones. El color y el perfume de las flores que atraen a los polinizadores, y el comportamiento social de insectos como las hormigas que les permite explotar sus recursos y defenderse de sus depredadores con sorprendente eficacia, son solo algunos ejemplos. La sofisticación de las adaptaciones maravilló desde siempre al ser humano. Sin embargo, este fenómeno escapó de la explicación científica hasta que Charles Darwin y Alfred Russell Wallace presentaron la teoría de la evolución por selección natural en 1858. Hasta entonces, la única explicación concebida implicaba recurrir a factores sobrenaturales. La adaptación era la máxima expresión del orden del cosmos, la más contundente evidencia del poder de Dios.

Es pertinente en este punto una digresión sobre la presunta "crisis de la teoría evolutiva" o, más específicamente, de la *teoría sintética* de

corte darwiniano. El paleontólogo estadounidense Stephen Jay Gould es, sin dudas, el evolucionista que más fama ha alcanzado entre el público general, y es autor de numerosos libros de divulgación, por lo que sus ideas han influido mucho más que las de los demás evolucionistas en el gran público. Esta influencia también se ha hecho sentir en divulgadores y especialistas en enseñanza de las ciencias: Gould ha efectuado una serie de críticas a la teoría sintética de la evolución. En particular, ha criticado la a su juicio exagerada importancia que la teoría sintética ha dado a la selección natural como proceso evolutivo y el supuesto de que todos los procesos evolutivos sean estrictamente graduales.[4] También ha destacado el papel del azar frente al de la selección natural en la evolución (véase, por ejemplo, Gould, 1994). A pesar de que la calidad de los escritos y los aportes científicos de Gould son innegables,[5] también se ha señalado el carácter poco claro de algunas de sus ideas (Dawkins, 2000: 210 y 223; Maynard Smith, 1995) y los cambios en el tono de sus críticas han variado desde la pretensión de declarar "la muerte de la teoría sintética" hasta reconocer que las críticas en cuestión son perfectamente compatibles con la teoría antes moribunda. Así, muchos textos de Gould presentan una versión sesgada del "estado del arte" en la biología evolutiva, en la cual la selección natural sigue ocupando un rol central. Por otro lado, muchos divulgadores científicos y especialistas en enseñanza de las ciencias han tomado acríticamente las ideas de Gould e incluso las han tergiversado. Por ejemplo, Gould ha señalado –correctamente– que no todos los rasgos son adaptativos. Sin embargo, cree, como todos los biólogos, que aquellos rasgos que sí son adaptativos son producto de la selección natural. Malinterpretando esta observación, muchos autores han sostenido que Gould ha propuesto una nueva teoría evolutiva no darwiniana, es decir, que prescinde del concepto

[4] Estas críticas fueron planteadas inicialmente en dos artículos ya clásicos. La crítica al "adaptacionismo" fue presentada en un artículo escrito junto con el genetista Richard Lewontin (Gould y Lewontin, 1979) y el "modelo de equilibrios puntuados", relacionado (de un modo complejo) con el tema del "gradualismo", fue planteado en un artículo en colaboración con el paleontólogo Niles Eldredge (Eldredge y Gould, 1972).

[5] Como introducción a su obra recomendamos el excelente libro de ensayos sobre evolución *El pulgar del panda* (Gould, 1980)

de selección natural. Sin embargo, Gould no ha descartado la idea de selección natural y, lo que es más importante, no ha insinuado siquiera la existencia de algún otro mecanismo capaz de explicar la evolución adaptativa. Así, la crítica de Gould al "adaptacionismo" ha sido ampliamente malinterpretada (Dennett, 1995: 239). Como vemos, tenemos aquí un doble problema. Por un lado, la versión sesgada que el propio Gould ha presentado de la teoría (sumada a la poca claridad de algunas de sus ideas) y, por otro lado, la tergiversación de las ideas de Gould por parte de divulgadores y didactas de las ciencias. Es probable que algunas críticas de Gould y la amplia aceptación (muchas veces acrítica) de sus ideas se deba, al menos parcialmente, a cuestiones ideológicas (Pinker, 2007: 394; Pinker, 2003, cap. 6).

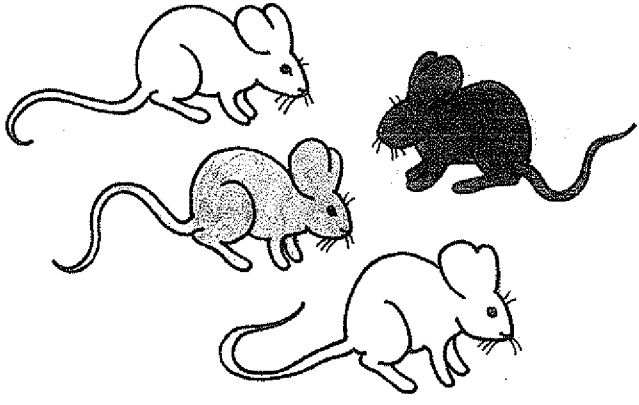
Es necesaria esta digresión porque existe un amplio consenso entre los biólogos evolucionistas actuales en cuanto a que el modelo de evolución por selección natural no solo nos permite explicar la adaptación sino que se trata del único modelo capaz de hacerlo. Así, aunque el estudio de la evolución en general requiera una aproximación pluralista desde el punto de los procesos, el análisis de la evolución adaptativa en particular debe centrarse en el proceso de selección natural. Se trata de la única teoría que explica la adaptación (Futuyma, 2005, cap. 11; Hasson, 2006: 84-85; Ridley, 2004: 256, entre otros) y goza de un consenso total, gracias a las innumerables evidencias empíricas que la apoyan, entre los biólogos evolucionistas.

Es importante también aclarar que "evolución" y "selección natural" no son sinónimos. Esto se debe a que pueden darse cambios evolutivos mediante procesos diferentes de la selección natural. Básicamente, la principal alternativa es el mecanismo conocido como *deriva génica*. La deriva génica consiste en un cambio en la proporción de las variantes de una población debido estrictamente al azar. Por eso, la deriva no constituye una alternativa a la selección a la hora de explicar la evolución de rasgos adaptativos: es absurdo pensar que algo tan sofisticado y evidentemente funcional como el ojo pueda haber surgido por pura casualidad. Puede haber evolución sin selección, pero esa evolución no produce adaptaciones. Si lo que nos interesa es comprender el origen de las adaptaciones, debemos recurrir a la selección natural.

El modelo de evolución por selección natural

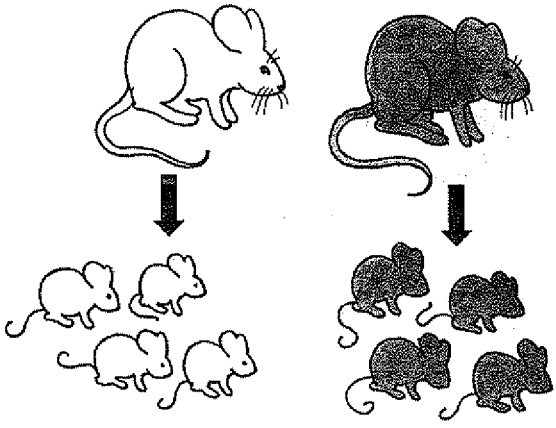
La condición previa y necesaria para que se dé evolución, mediante cualquier proceso, es que exista variación heredable en la población. Por eso, podemos referirnos al proceso de evolución por selección natural como un *modelo de variación y selección*. Presentaremos el *modelo de evolución por selección natural* (MESN) con un ejemplo sencillo (ilustraciones de L. González Galli). Supondremos que para una especie de ratón el color oscuro de pelaje es ventajoso porque los individuos que tienen ese color tienen más probabilidades (que los de pelaje más claro) de pasar inadvertidos frente a sus depredadores. Veremos cómo la selección natural nos permite explicar el hecho de que, partiendo de una población con distintas variantes de color presentes en ciertas proporciones, al cabo de unas generaciones, llegamos a una población en la que predomina el color oscuro, es decir, el más "conveniente" desde el punto de vista de la supervivencia.

1) *Variantes dentro de la población*: los individuos presentan ligeras diferencias entre sí, cada individuo es único. Los individuos nacen con pequeñas diferencias sin importar si esas diferencias son ventajosas o perjudiciales para ellos. Estas variaciones son el producto de las mutaciones genéticas y de las nuevas combinaciones de genes debidas a la reproducción sexual.



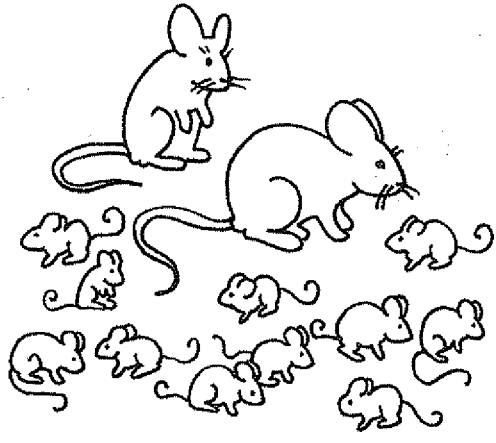
Ejemplo: algunos individuos son más claros y otros son más oscuros.

2) *Herencia de las variaciones*: los hijos se parecen a los padres, por lo que las diferencias entre los individuos también aparecerán entre los descendientes. Esto se debe a que las características biológicas son determinadas en parte por los genes que los descendientes reciben de sus progenitores.

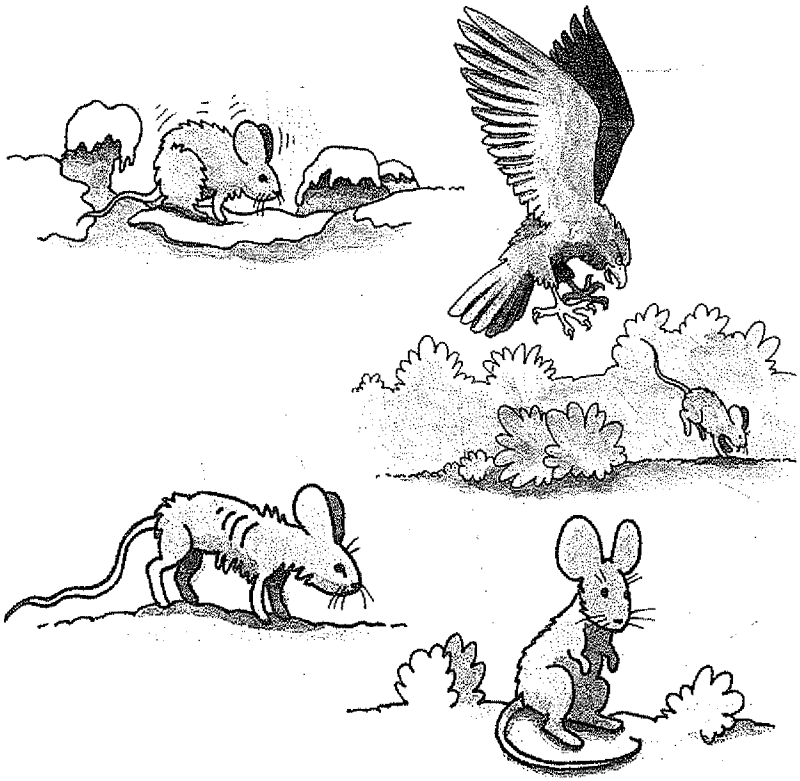


Ejemplo: Los hijos de los más oscuros serán, en general, más oscuros que los hijos de los más claros.

3) *Gran capacidad reproductiva y estabilidad del tamaño poblacional:* los individuos tienen una gran capacidad para producir crías. Si suministramos recursos ilimitados la población crece indefinidamente.

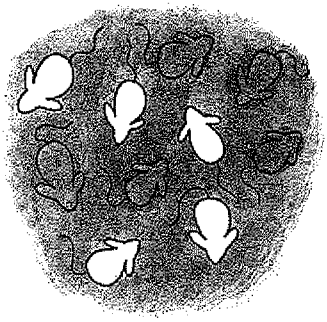


Sin embargo, las poblaciones no crecen indefinidamente sino que alcanzan un tamaño límite. Esto se debe a que, por diversos motivos, muchos individuos no logran sobrevivir o reproducirse.



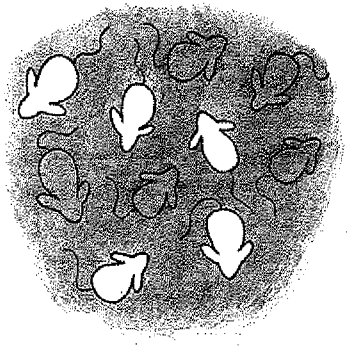
Ejemplo: los ratones podrían ser víctimas de los depredadores, del clima o las enfermedades, podrían no encontrar comida o no encontrar pareja.

4) *Relación entre las variaciones y la capacidad para sobrevivir y reproducirse*: si consideramos los numerosos problemas que enfrentan los individuos para sobrevivir y reproducirse, podremos entender que algunos individuos poseedores de ciertas características tendrán, según el medioambiente en que viven, más oportunidades de sobrevivir y reproducirse que los individuos que poseen otras características.

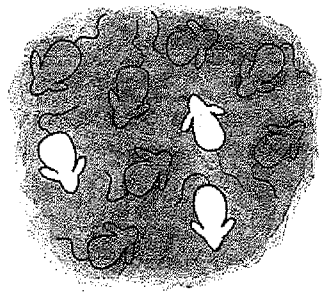


Ejemplo: en un ambiente como el de la figura los individuos más oscuros tendrían una ventaja (en comparación con los más claros), ya que se confunden con el suelo, lo que aumenta las probabilidades de que los depredadores no los detecten.

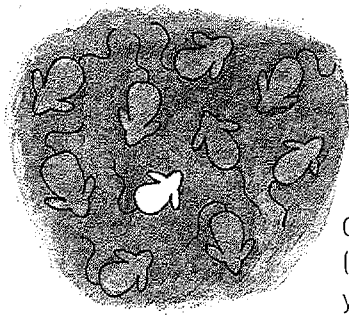
5) *Selección natural*: Como consecuencia de todo lo anterior, aquellos individuos que presentan alguna ventaja (los más oscuros en nuestro ejemplo) tendrán más probabilidades de sobrevivir y, por lo tanto, de reproducirse. Como los hijos heredan las características de sus padres, en cada generación habrá un mayor porcentaje de individuos con características ventajosas (oscuros) y un menor porcentaje con las desventajosas (claros).



Generación 0
(50% claros y 50 % oscuros)



Generación 1
(30% claros
y 70 % oscuros)



Generación 2
(10% claros
y 90 % oscuros)

Como vemos, el resultado de este proceso es una población con un mayor porcentaje de individuos con rasgos ventajosos. Como la mutación y la recombinación sexual generan nuevas variantes continuamente, la selección natural siempre incrementará la frecuencia de las variantes ventajosas o, para decirlo mejor, la selección natural *es* el inevitable incremento de la frecuencia de estas variantes.

Es importante destacar algunos puntos especiales de este modelo:

1. Las variantes, producto de la mutación y la recombinación sexual, surgen de un modo azaroso o aleatorio, en el sentido de que lo hacen con total independencia de las necesidades del individuo. En nuestro ejemplo, las probabilidades de que un ratón hembra dé a luz una cría blanca o negra son independientes de lo ventajoso o desventajoso que resulten esos colores en ese ambiente. Por eso se dice que la variabilidad surge de un modo azaroso.
2. Los individuos no cambian. En nuestro ejemplo ningún ratón claro se volvió oscuro. Cada uno muere con el mismo color con que nació. Obviamente, los individuos cambian a medida que maduran y que interactúan con su medio, pero estos cambios no son heredables y, por lo tanto, no tienen ningún rol evolutivo.
3. La población cambia. La evolución, en nuestro ejemplo por selección natural, se define como un cambio en la proporción de las variantes heredables presentes en la población.
4. Ningún rasgo es "ventajoso" o "bueno" *per se*. La ventaja relativa de un rasgo siempre depende del ambiente. En el caso de los ratones el color oscuro es ventajoso solo porque el suelo es oscuro. Si un cambio ambiental hiciera que se aclarara el suelo, el color claro pasaría a ser el más ventajoso.
5. Los rasgos que incrementan su frecuencia son los que implican una ventaja inmediata para la supervivencia y reproducción del individuo que porta el rasgo en cuestión. Si ese rasgo es beneficioso o perjudicial para la población o la especie como un todo es irrelevante.

6. Lo que importa es el número de descendientes y no la supervivencia *per se*. Entenderemos fácilmente este punto si imaginamos qué pasaría con una mutación que confiriera al mismo tiempo gran velocidad y esterilidad a los ratones. Aunque la gran velocidad resultara una enorme ventaja para sobrevivir, dicha mutación no podría incrementar su frecuencia por selección natural: "moriría junto con el ratón mutante" y no pasaría a la siguiente generación.
7. La evolución por selección natural no es un proceso azaroso. Lo azaroso es el surgimiento de las variantes que luego son seleccionadas, pero la selección es todo lo contrario del azar. Los que tienen mayores probabilidades de sobrevivir las tienen por "una buena razón", y no por casualidad. Los ratones negros tienen más probabilidades de sobrevivir *porque son menos visibles para los depredadores*, no por azar.

Sobre el concepto de adaptación

El término *adaptación* es utilizado con diferentes significados, por lo que tendremos que aclarar cuál, o cuáles, utilizamos en biología evolutiva. Aunque no podemos analizar todas las acepciones, ofrecemos aquí una distinción útil y una advertencia necesaria. En primer lugar, y en el marco de la teoría evolutiva, debemos notar que podemos dar dos significados a este término: "adaptación" como *proceso* y "adaptación" como *producto*. En el primer caso, es sinónimo de evolución por selección natural y en el segundo se refiere a la variante de un rasgo (el color oscuro en nuestro ejemplo) cuya frecuencia ha aumentado en la población como consecuencia de la selección natural. Así, en el segundo caso, una adaptación sería un rasgo producto de la selección natural. Esta definición es *histórica*, ya que decir que un rasgo es una adaptación implica afirmar algo sobre cómo llegó ese rasgo a su estado actual. Otra posible definición de la adaptación como producto es *funcional* pero no histórica (Futuyma, 2005). Según esta alternativa, todo rasgo que actualmente confiere una ventaja de supervivencia y reproducción es una adaptación. No importa en esta definición cómo se produjo dicho rasgo, sino solo su efecto actual

sobre la *performance* del individuo. Ambas definiciones, la *histórica* y la *funcional* están relacionadas, especialmente si uno supone que el único proceso evolutivo capaz de producir adaptaciones es la selección natural.

Vayamos ahora a la advertencia necesaria. En el lenguaje cotidiano solemos usar la palabra "adaptación" para referirnos a cambios sufridos por los individuos. Así, por ejemplo, decimos "me adapté rápidamente a mi nuevo trabajo". También hay un sentido fisiológico del término implícito en afirmaciones como "el organismo (individual) se adapta a una dieta rica en glucosa produciendo más insulina". En ambos casos estamos hablando de cambios de un individuo. En biología evolutiva, en cambio, lo único que cambian son las poblaciones. Lo que tienen en común todos estos usos es que siempre se refieren a un cambio que implica un mejor "ajuste" entre dos cosas, pero tener presentes las diferencias es fundamental para comprender el MESN.

Evolución de rasgos complejos o "el poder creativo" de la selección natural

Algún lector escéptico podría objetar: "De acuerdo, entiendo cómo la selección natural puede dar origen a una población de ratones más oscuros, pero otra cosa es explicar adaptaciones realmente complejas como el ojo de un vertebrado o las alas de las aves". Intentaremos responder esta inquietud. Para entender la evolución mediante selección natural de estos rasgos extremadamente complejos hay que tener presentes dos ideas. La primera es que en estos casos debemos pedir más a nuestra imaginación, mal equipada para pensar en términos de millones de años. En efecto, debemos concebir que los rasgos complejos son el producto de la acumulación de pequeñísimas mejoras a lo largo de miles de generaciones sometidas a selección natural. La segunda idea es que debemos tener presente que las ventajas por las cuales se fueron seleccionando los estadios iniciales o intermedios en la evolución de un rasgo complejo puedan haber variado a lo largo de la historia. Por ejemplo, algunos estadios intermedios en la evolución de las plumas de las aves, que actualmente forman parte de un "equipo para volar", pueden haber

sido seleccionados para otras funciones. La secuencia evolutiva, a partir de las escamas de los dinosaurios, puede haber implicado los siguientes cambios de función: protección, regulación térmica, atenuación de los saltos desde los árboles, planeo y vuelo (Kardong, 1999). Así, si nos preguntan "¿Para qué habrían servido las primeras versiones de las plumas? ¡No serían útiles para volar!", la respuesta es que, inicialmente, fueron seleccionadas por razones que nada tienen que ver con el vuelo.

Tomemos ahora el ejemplo de la evolución de los ojos. El ojo de un vertebrado (o el de un pulpo) es el ejemplo paradigmático de adaptación y complejidad. Es una adaptación al igual que el color oscuro de nuestros ratones porque es producto de la selección natural o, desde la perspectiva funcional, porque incrementa el "ajuste" entre el individuo y su medio. Sin embargo, el ojo es, a diferencia del color oscuro de los ratones, un rasgo de extraordinaria complejidad: retina, cristalino, músculos, nervios, córnea y muchas otras estructuras actúan coordinadamente para generar imágenes.

¿Cómo pudo este rasgo evolucionar por selección natural? En el ejemplo del ratón el rasgo ventajoso (el color oscuro) apareció como consecuencia de una mutación y el ambiente (los depredadores) lo seleccionó. ¿Será que el ojo complejo apareció como consecuencia de una mutación y luego fue seleccionado? La respuesta es un *no* rotundo. Una estructura tan compleja como el ojo no puede surgir, a partir de la ausencia total de ojos, en un solo paso debido a una mutación azarosa. Lo que sucedió, en cambio, fue que en una población de animales sin ojos surgió, por mutación, algún individuo con apenas una mancha en el tegumento sensible a la luz. Esta "mancha ocular" no permitía formar imágenes pero sí distinguir la dirección de donde venía la luz. Esta capacidad debe haber constituido una ventaja ya que permitía a este animal acuático "saber" cuán lejos estaba de la superficie del agua o encontrar refugios seguros. Dada esta ventaja, los individuos con estas "manchas oculares" tuvieron más probabilidades de sobrevivir y de dejar descendencia (que heredó estos órganos) que los que carecían de estas estructuras. Los gusanos planos actuales, como las planarias, tienen este tipo de "manchas oculares". Existen incluso algunos seres vivos unicelulares con versiones más

elementales aún de fotorreceptores. Luego, cualquier modificación de este "protoojo" que mejorara su funcionamiento fue seleccionada. Así, se fueron agregando, paso a paso, nuevas características que mejoraban el funcionamiento del ojo. Otros ojos, algo más sofisticados, tienen lentes y los encontramos en algunos gusanos (anélidos). Encontramos ojos capaces de formar imágenes en insectos y otros artrópodos y en moluscos cefalópodos (pulpos y calamares) y vertebrados. En estos dos últimos linajes este proceso llevó, de modo independiente, a ojos complejos capaces de formar imágenes con gran fidelidad.

Así, los ojos complejos que observamos hoy no fueron "hechos por la mutación" y simplemente "seleccionados por el ambiente" sino que, en algún sentido, fueron "hechos" por la propia selección, que retuvo y acumuló miles de sutiles mejoras a lo largo de millones de generaciones. Estos ejemplos nos permiten apreciar el poder positivo y creativo de la selección que no se limita a eliminar lo que peor funciona sino además va "esculpiendo" adaptaciones complejas a lo largo de las generaciones.

Invitamos al lector a aplicar el MESN para explicar el origen de cualquier rasgo biológico que llame su atención por su complejidad o porque parece "hecho para algo". La forma hidrodinámica de un tiburón, el mimetismo de una mariposa, el olfato de un perro o la capacidad del lenguaje que nos permite compartir con el lector estas ideas son algunos de estos maravillosos rasgos que llamamos adaptaciones.

¿CÓMO SURGEN NUEVAS ESPECIES? EL PROCESO DE *ESPECIACIÓN*

Habiendo ofrecido una explicación al fenómeno de la adaptación, abordaremos ahora la segunda cuestión planteada al comienzo del capítulo. El desafío es el siguiente: explicar cómo a partir de una única especie se producen, un tiempo después, dos especies "hijas". Este proceso se llama *especiación*. El concepto de especie que utilizaremos es el concepto biológico según el cual todos los individuos

que, en caso de encontrarse en la naturaleza, podrían producir descendencia fértil, constituyen una especie.

La clave es entonces comprender cómo podría suceder que lo que en principio eran dos poblaciones de la misma especie lleguen a estar reproductivamente aisladas. Ese factor que impide la reproducción cruzada se denomina *mecanismo de aislamiento reproductivo* (MAR). Entender la *especiación* es entonces entender la evolución de los MARs. Muchos factores pueden constituirse en MARs. Por ejemplo, individuos de dos poblaciones podrían ser incapaces de producir descendencia fértil porque cierta incompatibilidad entre los genomas de ambos tipos resulta en la inviabilidad de sus descendientes. En otros casos podría suceder que los óvulos de las hembras no reconocieran a los espermatozoides de los individuos de la otra población. En algunas aves, las hembras de una población no reconocen el ritual de cortejo de los machos de la otra población. Estos y muchos otros factores pueden mantener a dos poblaciones reproductivamente aisladas. Cuando este aislamiento es completo tenemos, por definición, dos especies distintas. ¿Cómo evolucionan estos MARs? Un modelo fácil de entender, y que tal vez sea el que más se aproxima a muchos casos reales de especiación, supone que una barrera geográfica facilita la evolución inicial del MAR. Técnicamente, este modelo es conocido como *modelo de especiación alopátrica* (*allo* = "diferente", *patria* = "lugar de nacimiento"), porque el MAR evoluciona estando las dos poblaciones en diferentes localidades geográficas. Lo explicaremos con un ejemplo hipotético.

Supongamos que una especie de rana habita en las orillas de un gran lago. La llamaremos "especie 1". Supongamos ahora que un descenso en el nivel de las aguas descubre un brazo de tierra que divide en dos al lago. En este caso la barrera geográfica es un brazo de tierra infranqueable. Tenemos ahora dos lagos que encierran dos poblaciones de la "especie 1". Como asumimos que las ranas son incapaces de cruzar el brazo de tierra, tenemos ahora dos poblaciones de la "especie 1" que llamaremos "1a" y "1b". Recordemos que una población es un conjunto de individuos de la misma especie que pueden aparearse efectivamente. A poco de aparecido el brazo de tierra, podemos estar seguros de que, en caso de que alguna rana

lograra cruzar hasta la otra laguna, no tendría problema alguno en aparearse exitosamente. Por eso, "1a" y "1b" constituyen, inicialmente, dos poblaciones de la misma especie. Pero están dadas las condiciones que propician la *especiación*.

Dado que no hay apareamiento entre los individuos de ambas poblaciones, estas seguirán un curso evolutivo independiente una de otra. Por ejemplo, en "1a" podría surgir una mutación muy ventajosa, por lo que en pocas generaciones su frecuencia aumentaría por selección natural. Sin embargo, aunque esta mutación fuera igual de ventajosa en "1b", no tenemos por qué esperar que surja también allí puesto que las mutaciones se producen azarosamente. Como es probabilísticamente imposible que surjan exactamente las mismas mutaciones y combinaciones génicas en el mismo orden temporal en ambas poblaciones, es inevitable que se vayan a acumulando diferencias entre ambas poblaciones. Nótese que este razonamiento es perfectamente válido aunque no haya ninguna diferencia ambiental a ambos lados de la barrera geográfica. Si además suponemos que sí existen diferencias ambientales (por ejemplo, un depredador está presente solo en una de las lagunas), entonces el proceso de diferenciación será más rápido porque la selección natural favorecerá diferentes variantes en ambas poblaciones.

Así, las dos poblaciones, "1a" y "1b", se harán cada vez más diferentes. Dado el tiempo suficiente, alguna o varias de estas diferencias harán imposible el cruzamiento efectivo entre dos individuos provenientes de las poblaciones diferentes, aun en caso de que se encuentren. Por ejemplo, podría haberse dado un cambio en el tono del canto en las ranas macho de "1a" de modo que las hembras de "1b" no respondieran a ese llamado amoroso. De este modo, aunque las aguas volvieran a crecer y desapareciera la barrera física entre ambas poblaciones, lo que tendríamos serían ya dos especies.

Desde ya, las dos especies de ranas serán muy semejantes en los primeros momentos posteriores a la *especiación*. Cuanto más tiempo de evolución independiente transcurra, más diferentes serán. En principio, mecanismos de este tipo podrían explicar el surgimiento de todos los grandes grupos de seres vivos. Por ejemplo, grupos tan diferentes como primates y felinos no serían más que grupos de

especies que hace mucho tiempo que están evolucionando independientemente. Así, el modelo de *especiación alopátrica* (junto con otros modelos de *especiación*) nos da una explicación aceptable del origen de la diversidad biológica a partir de un único ancestro común a todos los seres vivos.

EL PROBLEMA DE LA TELEOLOGÍA

En esta sección analizaremos el problema de la *teleología*, esto es, de las explicaciones que recurren a nociones tales como *finalidad*, *meta* u *objetivo*. Nuestro principal propósito es mostrar que la teleología puede asumir distintas formas, con implicancias muy diferentes, y que es necesario distinguir unas de otras.

El "diseño biológico" antes y después de Darwin

¿De qué objetos del mundo podemos decir con certeza que han sido diseñados? Esos objetos son los artefactos creados por el hombre. Un cuchillo, por ejemplo, está diseñado para cortar porque un ser consciente (un ser humano) lo concibió para tal fin y le dio las características adecuadas a dicha finalidad. Sin embargo, hay otros objetos que *parecen* diseñados. Se trata de los seres vivos o, más precisamente, de sus rasgos adaptativos. Cualquier observador racional reconocería que un ojo está, o al menos parece estar, diseñado para captar imágenes o que un diente de tiburón está diseñado para cortar.

En el siglo XVII, algunos científicos ingleses percibieron la necesidad de compatibilizar la visión mecanicista del mundo que estaban creando inspirados en Newton con las tradiciones religiosas dominantes en aquellos tiempos. La *teología natural*, según la cual el estudio de la naturaleza era la mejor forma de conocer a Dios, constituyó un intento de satisfacer esta necesidad. El químico Robert Boyle (1627-1691) y el naturalista John Ray (1627-1705) se convirtieron en los principales exponentes de esta escuela de pensamiento. Posteriormente, William Paley (1743-1805), tal vez el más famoso exponente de la teología natural, recurrió a una analogía para ilustrar lo que se cono-

ce como el "argumento del diseño" a favor de la existencia de Dios (Bowler, 2003). Paley sostenía que la existencia de relojes, objetos dotados de un evidente diseño, nos obligaba a reconocer la existencia de un relojero capaz de concebir y fabricar dichos objetos. Luego, continuaba Paley, los seres vivos, que exhiben un diseño mucho más sofisticado que los artefactos humanos, nos obligan a admitir la existencia de un diseñador infinitamente más poderoso: Dios.

En aquella época no había un mejor modo de explicar el "diseño biológico" que apelando a la existencia de un dios creador. Sin embargo, Darwin se sintió cada vez más insatisfecho con este tipo de explicaciones sobrenaturales y concibió la teoría de la selección natural como una explicación naturalista para el "diseño biológico". Este fue tal vez el mayor logro intelectual de Darwin, ya que hizo que fuera innecesario apelar a Dios para explicar la adaptación de los seres vivos.

Cuando explicamos algo apelando a nociones tales como "fin", "objetivo" o "meta", estamos construyendo una *explicación teleológica* (*telos* significa "fin") o finalista. La explicación del diseño del cuchillo es teleológica porque apela a los fines concebidos por el diseñador humano. La explicación de la adaptación, del diseño biológico, debida a la teología natural también lo es, ya que apela a las metas concebidas por Dios. Sin embargo, la explicación darwiniana del diseño biológico no lo es, ya que la selección natural no supone la existencia de ninguna entidad capaz de concebir metas o fines. Así, tenemos una explicación no teleológica del diseño biológico. Como conclusión, podemos decir que Darwin "desacopló" las nociones de teleología y diseño, dándonos una explicación natural, no teleológica, del diseño biológico. Por eso Richard Dawkins (1988) ha dicho, haciendo referencia al relojero de Paley, que la selección natural es un "relojero ciego".

En la última sección de este capítulo volveremos sobre este punto para ofrecer una mirada menos ortodoxa de este tema, ya que sugeriremos que la explicación darwiniana es teleológica, aunque en un sentido muy diferente del de las explicaciones teológicas predarwinianas. Pasaremos ahora a un uso particular que se da en la actualidad (fuera del ámbito científico) al argumento de diseño.

La última estrategia del creacionismo: el diseño inteligente

El hecho de que las afirmaciones de la biología evolutiva contradigan la interpretación literal del relato bíblico sobre el origen del mundo y, en particular, sobre el origen de nuestra especie, ha motivado que algunos grupos religiosos fundamentalistas dieran lugar a un movimiento antievolucionista llamado "creacionismo". La "teoría del diseño inteligente" (DI) es la última estrategia del creacionismo estadounidense para luchar contra la enseñanza de la teoría evolutiva (Eldredge, 2009). Comencemos entonces explicando en qué consiste el "creacionismo".

Siguiendo a Michael Ruse (2008a), podemos decir que:

> En un sentido amplio, un creacionista es alguien que cree en un dios que creó, de la nada, el cielo y la tierra, por un acto de libre voluntad. Un dios semejante es generalmente concebido como involucrado constantemente ("inmanente") en la creación, listo para intervenir cuando fuera necesario, y sin cuya constante preocupación la creación se acabaría o desaparecería. Cristianos, judíos y musulmanes son todos creacionistas en este sentido.

Y en un sentido más restringido:

> Creacionismo significa tomar la Biblia, particularmente los primeros capítulos del Génesis, como una guía literalmente verdadera de la historia del universo y de la historia de la vida, incluidos nosotros los humanos, aquí en la Tierra.

Cuando personas con estas creencias pretenden que sus afirmaciones tienen validez científica se suelen denominar "creacionistas científicos". Este "creacionismo científico" ejerce fuertes presiones y libra batallas legales en Estados Unidos para prohibir la enseñanza de la teoría evolutiva o para exigir una igual cantidad de horas de clase para el tratamiento de la "ciencia de la creación". Los creacionistas rechazan la teoría de la evolución. La "ciencia de la creación" nació en la década de 1960 como una forma de introducir el creacionismo en las aulas (Eldredge, 2009). El adjetivo "científico" que el creacio-

nismo se ha agregado responde a una estrategia política: si es una ciencia, sería su argumento, entonces puede y debe ser enseñado en las escuelas.

Debemos comenzar diciendo que el DI pretende representar una alternativa científica para la explicación darwiniana de la complejidad biológica y la adaptación. Considera que la selección natural es insuficiente para explicar el "diseño biológico" y que el único modo de explicar este fenómeno es recurrir a factores sobrenaturales.

Uno de los más notorios partidarios del DI es el bioquímico estadounidense William Behe. Un concepto clave desarrollado por Behe es el de "complejidad irreductible". Un sistema es "irreductiblemente complejo" cuando está formado por muchas partes que interactúan para cumplir una función común, de modo que el todo no puede cumplir su función si falta alguna de las partes. Según esta idea, un sistema semejante no puede haberse originado mediante adiciones graduales a un sistema anterior (como sostiene el darwinismo), ya que este sistema predecesor carecería de algunas de las partes del sistema actual y, por definición, no cumpliría su función.

Nótese que la existencia confirmada de sistemas biológicos de "complejidad irreductible" implicaría un serio problema para el darwinismo (Dawkins, 2006: 142). La cuestión importante es entonces: ¿existen sistemas biológicos de "complejidad irreductible"? Los adherentes al DI han propuesto algunos posibles casos. Por ejemplo, el flagelo bacteriano. Estas estructuras dotan de movilidad a las bacterias pero, a diferencia de los flagelos eucariotas que son como látigos que se sacuden, los flagelos bacterianos giran. Están montados sobre un sistema de proteínas de tal modo que el flagelo gira libremente sobre sí mismo, como el eje de un carrusel. Esta estructura constituye el único sistema de rotación libre conocido en la naturaleza. De acuerdo con los partidarios del DI este sistema es "irreductiblemente complejo". Para refutar esta idea habría que mostrar cómo puede concebirse la evolución gradual de este sistema a partir de otro sistema distinto. Contra las pretensiones del DI, se ha hallado un sistema que tiene por función inyectar toxinas bacterianas en la célula blanco constituido por proteínas muy semejantes a las del "motor flagelar", lo que sugiere que, como en muchos otros casos, el sistema flagelar podría

derivar de un sistema anterior que servía a una función diferente. Otro ejemplo presentado por Behe es el sistema inmunológico de los mamíferos. Para vergüenza de Behe, varios científicos señalaron en un juicio (uno de los tantos debidos a los intentos de los creacionistas de imponer su enseñanza en las aulas) la existencia de abundantes investigaciones sobre la evolución del sistema inmunológico, que Behe parecía desconocer (Dawkins, *op. cit.*: 146).

Como vemos, el DI no es más que una nueva versión del argumento del diseño esgrimido por la teología natural (Eldredge, 2009; Weber, 2009).

Richard Dawkins (2006: 137) se ha referido al razonamiento que subyace en los argumentos del DI como "la veneración de los vacíos". El razonamiento es así: se busca un vacío en la comprensión científica actual de algún fenómeno y cuando se lo encuentra se asume que Dios debe rellenarlo, por defecto. Como vemos, se trata de un procedimiento que poco tiene que ver con la actitud científica. Los místicos, dice Dawkins, se regocijan en el misterio y quieren que siga siendo misterioso; los científicos, por el contrario, se regocijan en el misterio porque les da algo que hacer. Por otro lado, aun una mirada rápida a la historia de la ciencia debería servirnos a fin de ser más cautos a la hora de concluir que no existe una explicación natural para un fenómeno.

A pesar de que los partidarios del DI se presentan como independientes del creacionismo, y como una alternativa científica al mismo, ambos movimientos tienen mucho en común. Michael Ruse (2008a) señala tres puntos fuertes en común entre estas dos posiciones. La primera es de naturaleza política: los partidarios del creacionismo apoyan con entusiasmo a los partidarios del DI en todos los foros de discusión. En segundo lugar, ambos sistemas de pensamiento apelan a factores no naturales para dar cuenta del origen del diseño biológico. El tercer factor es moral: ambos condenan la homosexualidad y el aborto entre otras cosas. Así, a pesar de sus pretensiones científicas, hay sobrados motivos para concluir que el DI es una variante del creacionismo fundamentalista.

El fenómeno del creacionismo (en Occidente un fenómeno casi endémico de Estados Unidos) nos obliga a reflexionar sobre un pro-

blema clásico de la epistemología: el "problema de demarcación" (Klimovsky, 1994). Es decir: ¿qué distingue a la ciencia de otras actividades humanas?, ¿qué criterios nos permiten sostener que las afirmaciones del creacionismo científico y del DI no son realmente científicas? Solo diremos aquí que una abrumadora mayoría de científicos y filósofos de la ciencia consideran que las afirmaciones de estos movimientos religiosos fundamentalistas no responden a los estándares científicos (Dawkins, 2006; Freeman y Herron, 2002; Futuyma, 2005; Ruse, 2008a, 2008b; Sober, 2007, entre muchos otros). Por ejemplo, algunos señalan, desde una perspectiva popperiana,[6] que las ideas del creacionismo (incluido el DI) no son falsables. Otros señalan la imperfección de la adaptación como un evidencia empírica contra el DI. Por ejemplo, en los vertebrados el tracto digestivo y el respiratorio comparten un tramo (la faringe), lo que da lugar al riesgo de atragantamiento. Este torpe defecto de diseño es difícil de comprender si suponemos que nuestros cuerpos fueron diseñados por un creador omnisciente y omnipotente. En cambio, es lo que cabría esperar si suponemos que nuestro diseño corporal es la modificación de una versión previa. En particular, este defecto de diseño se explica por el hecho de que el sistema respiratorio surgió en la evolución de los vertebrados como una ramificación del sistema digestivo (Nesse y Williams, 2000).

A pesar de que ningún biólogo experto toma en serio las afirmaciones de los partidarios del DI, nos parece necesario discutir sus argumentos por la fuerte presencia que estas ideas tienen en medios de comunicación de alcance masivo. Así, desde el punto de vista educativo, surge la necesidad de refutar los argumentos del

[6] Karl Popper (1902-1994) fue un epistemólogo austríaco perteneciente al llamado Círculo de Viena. Popper criticó las teorías de Freud y Marx por considerar que eran tan flexibles que podían acomodarse a cualquier evidencia, de modo que resultaba imposible saber si eran adecuadas o no. Esto contrastaba con algunas hipótesis de la física para las cuales era posible imaginar ciertos hechos incompatibles con dichas hipótesis. La posibilidad de concebir estos hechos "prohibidos" por la hipótesis nos señala el camino para poner a prueba la adecuación de la hipótesis en cuestión: si no observamos esos hechos, la hipótesis se ve "corroborada" y si, por el contrario, esos hechos "prohibidos" se dan, la hipótesis se ve "falsada" o refutada. Para Popper la "falsabilidad" de un hipótesis era lo que nos permitía considerarla científica. Las hipótesis para las cuales no es posible imaginar ciertos hechos que las refuten no son científicas, porque no hay modo de ponerlas a prueba (Chalmers, 2000).

creacionismo científico en general y del DI en particular. Numerosas publicaciones, sobre todo en Internet, denuncian la ruina de la teoría evolutiva y proponen alternativas no científicas como las del DI. Estos medios hacen uso de sofisticados recursos retóricos por lo que no es fácil, para aquellos no versados en ciencias naturales, detectar las falacias argumentales o las tergiversaciones intencionales a las que recurren los divulgadores del creacionismo.

¿Es teleológica la teoría de la evolución por selección natural?

Hemos dicho que las explicaciones predarwinianas de la adaptación eran *teleológicas* porque asumían que el "diseño biológico" (lo que hoy llamamos adaptación) era producto de las intenciones del Creador. Incluso algunas explicaciones posdarwinianas de la adaptación han sido teleológicas, por ejemplo, las teorías neolamarckianas que suponían que las variaciones aparecían de acuerdo con las necesidades del individuo. Hemos dicho también que la teoría darwiniana no es *teleológica*, ya que los cambios adaptativos no obedecen a los objetivos de ninguna entidad. En efecto, la explicación darwiniana no supone ninguna intencionalidad al estilo de la teología natural ni supone que las mutaciones estén orientadas a la adaptación al estilo del neolamarckismo. Nadie duda de esta diferencia fundamental entre el darwinismo y las demás explicaciones.

Sin embargo, el carácter teleológico de los seres vivos, el "diseño aparente" que exhiben, constituye un problema central para la filosofía de la biología (Allen y cols., 1998). Negar la existencia del "diseño biológico" no parece una opción viable, ya que es evidente que los seres vivos, a diferencia de las rocas, parecen diseñados *para algo*. También es evidente, gracias al darwinismo, que este diseño es el producto del proceso natural, ciego y no intencional, de selección natural. Tenemos aquí una paradoja y dos posibles soluciones a la vista: o bien negamos que los seres vivos exhiban rasgos teleológicos (dirigidos a fines) o bien reconocemos que existen formas de teleología perfectamente naturales que nada tienen que ver con la teología natural ni con el creacionismo. Reconociendo el carácter polémico del asunto, nos inclinaremos por la segunda opción. Así,

concluiremos que Darwin no eliminó la teleología de la biología sino que la naturalizó, es decir, la despojó de todas sus implicancias sobrenaturales.

Si admitimos que un pez exhibe un diseño relacionado con la natación, estamos admitiendo un elemento teleológico en el pez. El diseño, aunque lo califiquemos de "aparente", implica una finalidad. Una finalidad que está presente aunque no sea producto de ninguna entidad intencional. Si el fenómeno a explicar –la adaptación biológica– es teleológico, una teoría capaz de explicar dicho fenómeno será necesariamente teleológica. La teoría que explica el fenómeno teleológico de la adaptación es la selección natural. La pregunta es entonces: ¿es *teleológica* la explicación darwiniana de la adaptación?[7]

La estructura de las explicaciones darwinianas (y de las explicaciones funcionales) ha resultado problemática para los filósofos de la biología. Los intentos de mostrar que se trata de una explicación al estilo de las de la física clásica han fracasado. En efecto, el modelo *monológico deductivo de explicación*,[8] hecho a imagen y semejanza de la física clásica, se ha mostrado inapropiado para dar cuenta de las explicaciones darwinianas y funcionales de la biología (Gaeta y cols., 1996). Esta dificultad llevó a algunos filósofos a preguntarse cuál era la naturaleza de la explicación darwiniana y muchos autores (Ayala, 1999; Caponi, 2003a; Lennox, 1993; Ruse, 2000, entre otros) han concluido que se trata de un tipo especial de explicación teleológica. Algunos autores (Ruse, *op. cit.*) señalan que, cuando explicamos algún rasgo mediante la teoría de la selección natural, estamos obligados a recurrir a la metáfora del diseño. Es decir, estamos obligados a preguntarnos "¿Para qué fue diseñado este rasgo?" o, lo que es lo mismo, "¿Para qué sirve?" o "¿Qué función cumple?". Por supuesto,

[7] Lo que muchos autores sugieren es que el modelo de evolución por selección natural, y no la teoría evolutiva en general, podría considerarse en cierto sentido teleológico. Nada habría de teleológico, según estos autores, en un proceso evolutivo no selectivo (por ejemplo en la deriva génica). Estamos entonces discutiendo específicamente el carácter teleológico de la selección natural y no de la evolución en general.

[8] Este modelo de explicación supone que un hecho está explicado cuando se puede deducir un enunciado que describe el hecho en cuestión a partir de una ley general y de ciertas condiciones particulares. Por eso se llama "nomológico (*nomos* = 'ley') deductivo".

admite Ruse, luego construimos la explicación darwiniana, en términos de supervivencia diferencial y demás, que no parece teleológica. Sin embargo, y este es el punto clave, solo podemos construir esta explicación porque antes pensamos en términos de diseño. La metáfora es inseparable de la teoría y, si la metáfora es teleológica, la teoría también lo es.

Otros autores (Caponi, 2003) llegan a la misma conclusión señalando que la explicación darwiniana supone una lógica "problema/solución", que es teleológica. Así, cuando explicamos la evolución de un rasgo mediante selección natural, lo que hacemos es identificar la razón por la cual la variante seleccionada constituye una mejor solución a un problema (conseguir comida, no morir de frío, etc.) en comparación con las demás variantes disponibles en la población. El nexo que une el aumento de frecuencia de una variante en la población y la presión de selección es teleológico. Podemos hablar así de una "teleología darwiniana".

Aunque esta propuesta es polémica, creemos que da cuenta de algunos rasgos innegables de la biología. Nos referimos al hecho de que, tanto antes como después de Darwin, los biólogos hemos recurrido a expresiones teleológicas con más frecuencia que los demás científicos. Así decimos que "las flores producen perfumes *para* atraer a los polinizadores" o que "nuestro cuerpo produce más insulina después de la ingesta *para* regular la concentración de glucosa en la sangre". Es común responder a esta observación diciendo que solo se trata de una forma de resumir enunciados que sería engorroso reformular en términos no teleológicos. Sin embargo, no parece que esta respuesta termine con el problema. Por qué, podríamos preguntarnos, los biólogos necesitamos más de este "atajo expresivo" que, por ejemplo, los geólogos. Es necesario admitir que los seres vivos tienen una organización y funcionamiento orientados hacia fines. Algunos autores reconocen esto, y para evitar las implicancias inaceptables de la teleología tradicional, dicen que los seres vivos son *teleonómicos* (Mayr, 2006; Monod, 1993). No creemos que introducir un nuevo término cambie demasiado nuestra comprensión del problema. Por el contrario, reconocer el carácter teleológico de los seres vivos nos permite pensar a qué se debe la orientación a fines de estos maravi-

llosos objetos naturales y, de este modo, diferenciar claramente esta causa (la selección natural) de las propuestas por la teología natural, el neolamarckismo o el creacionsimo-DI. La existencia de explicaciones teleológicas científicamente aceptables (es decir, que no recurren a factores sobrenaturales) sería un rasgo epistemológico distintivo de la biología. A continuación analizaremos algunas implicancias de estos análisis para la enseñanza.

"Teleología darwiniana" y "teleología de sentido común"

Diversas investigaciones en psicología cognitiva (Atran, 1998, 1999; Keil, 2002, Kelemen, 1999, entre otros) sugieren que los jóvenes y adultos occidentales tienen una mirada teleológica sobre los seres vivos. Esta forma de pensar sería constitutiva de la psique y sería funcional, en el sentido de que constituiría una potente guía para manejarse en la vida cotidiana. En el caso de la evolución, este pensamiento finalista se expresa, tal como vemos en nuestros estudiantes, en el supuesto de que las variaciones se producen según las necesidades del individuo y en el supuesto de que los cambios evolutivos responden a ciertos fines predeterminados, como la producción de la especie humana. Podríamos llamar a este modo de pensar "teleología de sentido común". Esta forma de pensar dificulta la construcción del modelo darwiniano, por lo que podemos considerarlo un *obstáculo epistemológico* (Astolfi, 1994).

Esta observación, junto con el hallazgo de la didáctica de las ciencias en relación con la omnipresencia y resistencia de las concepciones teleológicas de los estudiantes y junto con las reflexiones epistemológicas que hemos comentado en esta sección, debería llevarnos a replantear nuestros objetivos didácticos. ¿Será posible eliminar el pensamiento finalista de nuestros estudiantes? Y, dado el carácter funcional de este esquema de pensamiento, ¿será deseable tal eliminación? Creemos que la respuesta es "no" en ambos casos. Una vez reconocido el carácter teleológico de la biología, nuestro objetivo didáctico debería ser que nuestros estudiantes comprendan en qué sentido es correcto decir, por ejemplo, "los osos polares se volvieron blancos *para* camuflarse con su entorno". Esta afirmación podría ser la expresión abre-

viada de un sistema de pensamiento genuinamente darwiniano o, por el contrario, de la "teleología de sentido común". Nuestro punto es que ambos sistemas de pensamiento son teleológicos, aunque en sentidos diferentes, y por eso ciertas expresiones lingüísticas ("para", "porque necesitaban...") son comunes a ambos razonamientos.

Desde esta perspectiva, el objetivo sería que fuéramos (nosotros y nuestros estudiantes) conscientes de que, a la hora de reflexionar sobre las adaptaciones biológicas, tendemos a pensar en términos de la "teleología de sentido común": asumimos –erróneamente– que todo rasgo *está para algo* y que los individuos nacen preferentemente con aquellos rasgos que necesitan. Del mismo modo, cuando pensamos en la historia de la vida en la Tierra asumimos que los cambios pretéritos sucedieron *para* producir la aparición del ser humano. El MESN, junto con otros modelos de la biología, nos permite comprender por qué estas ideas son erróneas. Las explicaciones basadas en el MESN implican, según nuestra visión, una forma especial de razonamiento teleológico que es profundamente diferente de la "teleología de sentido común". Tan profunda es esta diferencia que el MESN nos permite afirmar que las variantes se producen al azar, que no todos los rasgos *están para algo* (solo de aquellos que son producto de la selección se puede decir que *están para algo*) y que, dado el componente aleatorio del proceso, la aparición del ser humano no era ni previsible ni inevitable. Aun así, este modelo nos permite entender cómo los seres vivos logran ese extraordinario ajuste con su medio que llamamos adaptación.

Para finalizar esta sección, sugerimos a nuestros lectores una estrategia de pensamiento a fin de comprender el origen de la adaptación biológica. Cuando le llame la atención un rasgo biológico (por ejemplo, cierta coloración del plumaje de un ave) podrá preguntarse legítimamente "*¿Para qué* ese organismo tiene ese rasgo?" (una pregunta claramente teleológica). Luego deberá informarse sobre la biología de esa especie para pensar alguna hipótesis en relación con la función (o el valor adaptativo) del rasgo en cuestión. A continuación habrá que buscar evidencias (en la bibliografía especializada) a favor o en contra de esta hipótesis. Si las evidencias apoyan la hipótesis, usted podrá elaborar una explicación darwiniana, para lo cual le reco-

mendamos usar el ejemplo de los ratones como guía. Si ninguna de sus hipótesis adaptacionistas encuentra evidencias favorables, deberá concluir, al menos por el momento, que no se puede afirmar que el rasgo analizado sea producto de la selección, por lo que no podremos decir que ese rasgo sirva o esté *para algo*. Supongamos que el rasgo que lo intriga es un apéndice luminoso en la cabeza de un pez. ¿Para qué le sirve este apéndice a este pez? Investigando en la literatura especializada, se entera de que se trata de una especie abisal. Piensa entonces que, tal vez, ese apéndice sirve para atraer peces pequeños, potenciales presas, en la oscuridad de las profundidades. Investiga más y encuentra estudios que sugieren que esta hipótesis es correcta. Ahora puede, entonces, reconstruir la historia de la especie usando el MESN. Obsérvese que usted habrá recurrido a un razonamiento teleológico (¿para qué sirve ese rasgo?) y habrá construido una explicación (basada en el MESN) que no supone la intervención de ningún ente sobrenatural ni ningún otro supuesto científicamente inaceptable.

Digamos, para cerrar el capítulo, que es evidente que una comprensión profunda de la evolución requiere el auxilio de otros modelos además de aquellos en los que nos hemos centrado aquí. Por ejemplo, para construir un cuadro medianamente complejo de la evolución humana, habrá que incluir en el análisis los modelos específicos derivados de los hallazgos fósiles y del análisis de la geografía de estos restos. También será necesario profundizar en el modelo de deriva génica. Por otro lado, existen otros modelos de especiación que, particularmente en el caso de las plantas, difieren sensiblemente del modelo alopátrico. Hemos ignorado también numerosos debates actuales tales como el que concierne a la relación entre "microevolución" y "macroevolución" o el problema de los "niveles de selección". Tampoco hemos abordado nuevas y promisorias líneas de investigación[9] que se alejan de

[9] Se discute actualmente si las nuevas líneas de investigación, como la mencionada biología evolucionaria del desarrollo (o "evo-devo") o la genómica evolucionaria, implican una "revolución" que dará lugar a una nueva teoría evolutiva radicalmente diferente de la teoría sintética o si se trata meramente de una ampliación y reformulación de los fundamentos de la teoría sintética. Dado que estos nuevos desarrollos son aún incipientes, habrá que esperar algunas décadas para responder esta cuestión. En cualquier caso, nada nos habilita a pensar que una nueva teoría evolutiva (o una nueva versión de la actual) pueda prescindir de los conceptos básicos aquí analizados (selección natural y especiación alopátrica).

la agenda "clásica" de la teoría sintética. Creemos, sin embargo, que la comprensión de estos debates y desarrollos recientes requiere el conocimiento previo de los modelos básicos sobre los cuales se están discutiendo matices y variaciones. Tampoco hemos podido abordar algunos problemas para enseñar evolución, tales como la dificultad para pensar en términos poblacionales o la resistencia emocional que genera en ocasiones una teoría que parece despojar de sentido nuestro origen como especie.

Esperamos entonces que esta introducción resulte interesante para nuestros lectores y que funcione como una invitación a fin de profundizar el estudio de esta apasionante área de la biología. Con respecto a los docentes, esperamos que nuestras sugerencias les sean de utilidad para repensar la enseñanza de la evolución.

PENSAR LAS PRÁCTICAS

En esta sección sugerimos varias actividades para trabajar, con estudiantes de educación media o superior, algunos de los temas discutidos en el capítulo.

I. Casos fáciles, casos difíciles

El ejemplo de los ratones con el que hemos presentado el MESN es muy sencillo. En nuestra investigación hemos encontrado que en otros casos resulta más difícil la aplicación del modelo. Les sugerimos proponer a sus estudiantes explicar los siguientes casos:

a) ¿Cómo se originaron poblaciones de osos blancos a partir de osos pardos en la región ártica?
b) ¿Cómo se originaron poblaciones de peces ciegos a partir de peces con ojos en lagos subterráneos donde no hay luz?
c) ¿Cómo se originaron felinos sociales como los leones a partir de un felino ancestral que no formaba grupos sociales?
d) ¿Cómo evolucionó la cola del pavo real a partir de una especie con una cola "normal"?

El primer caso es equivalente al de los ratones: se trata de explicar el origen de un rasgo morfológico adaptativo. El segundo implica la pérdida de una estructura. Aquí, los estudiantes encuentran difícil concebir la ventaja relativa de "no tener algo". Por eso suelen recurrir en este caso a explicaciones basadas en la noción de uso y desuso de los órganos ("como no los usan, se atrofian") y herencia de los caracteres adquiridos. También suelen recurrir a una suerte de "ley de la compensación" según la cual la especie pierde un rasgo (la vista) para desarrollar otro (el oído). Por eso, pensar sobre este caso es un buen ejercicio para que comprendan que todo rasgo implica un costo energético de producción y mantenimiento, y que, desaparecida la ventaja que el rasgo implicaba, solo quedan estos costos, circunstancia en la que pasa a ser ventajoso no tener dicho rasgo. En este caso, en la oscuridad los ojos no implican ventaja alguna, pero siguen requiriendo mucha energía para su producción y mantenimiento. Cualquier mutante que nazca con ojos menos desarrollados tendrá una cantidad extra de energía para invertir en otra estructura o función corporal, por lo que estará en ventaja frente a aquellos con ojos muy desarrollados. El tercer caso implica la evolución de un rasgo de comportamiento. Tal vez porque tienden a creer que los genes no influyen en la conducta, los estudiantes encuentran difícil comprender que el modelo darwiniano puede aplicarse a la evolución de rasgos etológicos. Sin embargo, las evidencias sobre la influencia de los genes en la conducta (Plomin y cols., 2002) y sobre la evolución por selección natural del comportamiento son contundentes (Alcock, 1998). El caso del pavo real sirve para introducir la noción de *selección sexual*. Este proceso es un caso especial de selección natural en el que el rasgo cuya frecuencia aumenta implica una ventaja a la hora de aparearse pero, desde el punto de vista de la supervivencia, no solo no implica una ventaja sino que suele implicar una desventaja. El ejemplo sirve para evidenciar que en la selección natural "lo que importa" es el número de descendientes (véase el punto 6, pág. 237). Así, a pesar de los inconvenientes que implica una cola tan grande y llamativa (atrae depredadores, dificulta el vuelo, etc.), los apareamientos adicionales conseguidos por los machos gracias a la preferencia de las hembras por estas colas hacen que aumente en la población el número de individuos con estas nota-

bles colas. Estos rasgos son muy costosos (requieren mucha energía para su producción, dificultan la locomoción, etc.), pero las ventajas derivadas del éxito en el apareamiento sobrecompensan estas desventajas, de modo que la selección natural favorece su evolución.

II. ¿De qué "adaptación" estamos hablando?

Le sugerimos dar a sus alumnos los siguientes textos (u otros equivalentes) en los que el término "adaptación" aparece con diferentes significados, de modo que ellos deban identificar el implícito en cada caso.

- Cuando nos mudamos, mi perro no se *adaptó* a la nueva casa.
- Los grandes ojos de las lechuzas constituyen una *adaptación* a la vida nocturna.
- Cuando hacemos ejercicio físico nuestro organismo se *adapta* ajustando la frecuencia cardíaca y otras funciones vitales.

En el primer caso, "adaptación" está utilizado como sinónimo de acostumbramiento o habituación. Así, por ejemplo, se dice que una persona "se adapta a su nuevo trabajo" cuando se familiariza con dicho trabajo. En el segundo caso, "adaptación" tiene dos significados posibles. En primer lugar, puede interpretarse "adaptación" como un rasgo funcionalmente adecuado que confiere una ventaja al organismo (*concepción funcional ahistórica*). Desde esta perspectiva "ingenieril", los grandes ojos son particularmente adecuados para la vida nocturna. Pero en este caso "adaptación" también puede adoptar el significado evolutivo analizado en este capítulo, es decir, los grandes ojos serían un producto de la evolución por selección natural (*concepción histórica*). Ambos significados son compatibles o complementarios. Finalmente, en el tercer caso, "adaptación" hace referencia a una cierta acomodación fisiológica. El oscurecimiento de la piel (por un aumento en la cantidad de melanina) estimulado por la radiación solar sería otro ejemplo de esta categoría. Solo en el segundo caso aparece el significado de "adaptación" propio de la biología evolutiva. Nótese que en los casos primero y tercero lo que "se adapta" es un

individuo, en contraste con el caso segundo en el que la adaptación es un proceso poblacional, evolutivo.

III. Dos procesos distintos con resultados parecidos

Nuestros estudiantes tienden a establecer una analogía entre sistemas naturales productos de la selección natural y sistemas artificiales creados por el hombre. Por ejemplo, entre el sistema de ecolocación de cetáceos y murciélagos y el sistema de SONAR. Se trata de una buena oportunidad para explicitar las semejanzas y diferencias entre los procesos que dan lugar a ambos tipos de sistemas, haciendo hincapié en que la selección natural es un proceso en que las variantes seleccionadas aparecen por un mecanismo ciego de ensayo y error mientras que en la creación humana las variaciones están dirigidas por la intencionalidad del ser humano.

IV. Pero... ¿es ciencia?

Podemos pedir a los estudiantes investigar (tal vez con la ayuda del docente de otra área, como filosofía) qué propuestas han desarrollado los epistemólogos para distinguir qué es ciencia y qué no. Luego podrían aplicar estos criterios al caso del creacionismo y el DI para discutir y elaborar sus propias conclusiones.

V. Permitido decir "para"

Preocupados por las concepciones finalistas, muchas veces prohibimos a nuestros estudiantes decir "para". Pero, de acuerdo con lo dicho antes, más que "Está prohibido decir *para*", nuestro lema debería ser "¿Qué queremos decir cuando decimos *para*?". Esta última pregunta nos obliga a explicitar el marco teórico de referencia que estamos usando. Si al decir "*para* nadar" queremos decir que las aletas fueron seleccionadas por la ventaja que implicaban en relación con la natación no hay nada reprochable en dicha expresión. ¿Cómo podríamos prohibir decir "*para*" a nuestros estudiantes cuando los más destacados biólogos recurren a expresiones semejantes?

Para revelar el marco teórico subyacente a estas expresiones debemos proponer a nuestros estudiantes actividades que impliquen *explicar* y *argumentar*.

También podemos hacer que los estudiantes expliquen un problema clásico sobre evolución adaptativa antes de enseñar la teoría, por ejemplo, el caso de la evolución de la resistencia a los plaguicidas. Luego podemos introducir la idea de finalismo y, al cabo de la secuencia didáctica, podemos pedir a los estudiantes que vuelvan a leer sus primeras producciones y que identifiquen posibles expresiones finalistas en dichas producciones. Por último, podemos pedirles que reformulen en términos darwinianos las expresiones finalistas identificadas.

Este tipo de actividades favorece el desarrollo de las habilidades *metacognitivas* (la capacidad de reflexionar sobre el propio pensamiento) de los estudiantes y el desarrollo de una *vigilancia epistemológica*, es decir la capacidad de detectar y corregir los propios modos de explicar (González Galli y cols., 2008).

BIBLIOGRAFÍA

AA.VV. (2009), "Superar la desigualdad: por qué es importante la gobernanza", *Informe de seguimiento de la EPT en el mundo*, UNESCO. Disponible *on line* en: <www.unesco.org.uy>.

ABU SHARBAIN, E. (2002), "Enhancing in service teacher's constructivist epistemology through the development and redesign of inquiry-based investigations together with their students", *Electronic Journal of Science Education*, 7(1).

ACEVEDO DÍAZ, J. A. (2004), "Reflexiones sobre las finalidades de la enseñanza de las ciencias: educación científica para la ciudadanía", *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 1(1): 3-16.

— (2009), "Conocimiento didáctico del contenido para la enseñanza de la naturaleza de la ciencia (I): el marco teórico", *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(1): 21-46.

ACEVEDO DÍAZ, J. A.; VÁZQUEZ ALONSO, A. y MANASSERO MAS, A. (2003), "Papel de la educación CTS en una alfabetización científica y tecnológica para todas las personas", *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2(2). Disponible *on line* en: <reec.uvigo.es>.

ACEVEDO DÍAZ, J. A.; VÁZQUEZ ALONSO, A.; MARTÍN, M.; OLIVA, J. M.; ACEVEDO, P.; PAIXÃO, F. y MANASSERO, A. (2005), "Naturaleza de la ciencia y edu-

cación científica para la participación ciudadana. Una revisión crítica", *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(2): 121-140.

ADAM, J. (1985), "Quels types de texts?", *Le français dans le monde*, 192: 39-43.

ADÚRIZ-BRAVO, A.; ERDURAN, S. y MEINARDI, E. (2002), "Philosophies of chemistry and biology as emergent disciplines and their contributions to science education", en Gatt, S. (comp.), *Proceedings of Conference "Linking Science, Technology and Mathematics Education and their Social Relevance"*, Saint Julians, University of Malta, pp. 96-104.

AIKENHEAD, G. S. (2003), "Review of research on humanistic perspectives in science curricula. 4th Conference of the European Science Education Research Association (ESERA)", en *Research and the Quality of Science Education*, Noordwijkerhout, Holanda. Disponible *on line* en: <www.usask.ca>.

— (2005), "Educación ciencia-tecnología-sociedad (CTS): una buena idea como quiera que se le llame", *Educación química*, 16(2): 114-124.

ALCOCK, J. (1998), *Animal Behavior. An Evolutionary Approach*, Sunderland, Sinauer.

ALDECOA, J. (1990), *Historia de una maestra*, Barcelona, Anagrama.

ALLEN, C.; BEKOFF, M. y LAUDER, G. (1998), *Nature's Purposes. Analyses of Function and Design in Biology*, Cambridge, MIT Press.

ALLER ATUCHA, L. M. (1995), *Pedagogía de la sexualidad humana. Una aproximación ideológica y metodológica*, Buenos Aires, Galerna.

ALLIAUD, A. (1993), *Los maestros y su historia: los orígenes del magisterio argentino*, Buenos Aires, Centro Editor de América Latina.

ÁLVAREZ, W. (2009), *Tyranosaurus rex y el cráter de la muerte*, Barcelona, Crítica.

ALZOGARAY, R. (2004), *Una tumba para los Romanov. Y otras historias con ADN*, Buenos Aires, Siglo XXI.

ARAUJO, K. (2005), "La construcción de una práctica pedagógica sensible a la problemática de género. Los desafíos de la formación y las prácticas docentes", en *Seminario Internacional - Equidad de género en las reformas educativas de América Latina*, Chile.

ARÉCHIGA, H. (comp.) (1997), *Ciencias de la salud*, México, Siglo XXI.

ARCÀ, M.; GUIDONI, P. y MAZZOLI, P. (1990), *Enseñar ciencia. Cómo empezar: reflexiones para una educación científica de base*, Barcelona, Paidós.

ASTOLFI, J. P. (1994), "El trabajo didáctico de los obstáculos, en el corazón de los aprendizajes científicos", *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2): 206-216.

— (1997), *Aprender en la escuela*, Santiago de Chile, Dolmen.

— (1999), *El error, un medio para enseñar*, Sevilla, Díada.

— (2001), *Conceptos clave en la didáctica de las disciplinas*, Sevilla, Díada.

ASTOLFI, J. P. y DEVELAY, M. (1989), *La didactique des sciences*, París, Presses Universitaires de France.

ASTOLFI, J. P. y PETERFALVI, B. (1997), *Estrategias para trabajar los obstáculos: dispositivos y resortes*, en Camilloni A. R. W. de (comp.), *Los obstáculos epistemológicos en la enseñanza*, Barcelona, Gedisa.

ATRAN, S. (1998), "Folk biology and the anthropology of science. Cognitive universals and cultural particulars", *Behavioral and Brain Sciences*, 21: 547-609.

— (1999), "Folk biology", en Wilson, R. y Keil, F., *The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences*, MIT Press, Cambridge.

AYALA, F. (1978), "Mecanismos de la evolución", *Investigación y ciencia*, noviembre, pp. 13-28.

— (1999), "Adaptation and novelty: teleological explanations in evolutionary biology", *Stud. Hist. Phil. Biol. & Biomed. Sci*, 21(1): 3-33.

BACHELARD, G. (1948), *La formación del espíritu científico*, Buenos Aires, Argos.

— (1989), *Epistemología*, Barcelona, Anagrama.

BARALDO, L. (200'7), "¿Por qué los estudiantes de secundaria no eligen química como carrera universitaria y qué podría hacerse desde la universidad?", *Revista Química Viva*, 6 (mayo). Disponible *on line* en: <www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar>.

BARRÓN, M. y JALIL, L. (2005), *Educación sexual en el horizonte de los valores*, Córdoba, Educando.

BERLINGUER, G. (1994), *La enfermedad: sufrimiento, diferencia, peligro, señal, estímulo*, Buenos Aires, Lugar.

BLAKEMORE R. P. y FRANKEL R. B. (1982), "Navegación magnética en las bacterias", *Investigación y Ciencia*, febrero, p. 16.

Boido, G. y Lombardi, O. (2009), "El racionalismo científico", *Exactamente*, 15(43): 37.

Boido, G.; Flichman, E. y Yagüe, J. (1988), *Pensamiento científico*, Buenos Aires, CONICET.

Bonan, L. (2007), *La transposición didáctica de la teoría de convección en el manto en nivel universitario superior*. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires.

Borzese, D. y Bottinelli, L. (2005), "Inclusión con calidad educativa para todos los jóvenes. Algunos datos para la reflexión y la acción", en Krichesky, M. (comp.), *Adolescencia e inclusión educativa: un derecho en cuestión*, México, Novedades Educativas.

Bowler, P. (1998), *Historia Fontana de las ciencias ambientales*, México, FCE.

— (2003) *Evolution. The History of an Idea*, Berkeley, University of California Press.

Brandon, R. (1996.), *Concepts and Methods in Evolutionary Biology*, Cambridge, Cambridge University Press.

Breilh, J. (2003), *Epidemiología crítica*, Buenos Aires, Lugar.

Bybee, R. W. (1997), *Achieving Scientific Literacy: From Purposes to Practices*, Portsmouth (NH), Heinemann.

Camilloni, A. R. W. de (2002), *Los obstáculos epistemológicos en la enseñanza*, Barcelona, Gedisa.

Campillo Álvarez, J. (2004), *El mono obeso. La evolución humana y las enfermedades de la opulencia: diabetes, hipertensión, arteriosclerosis*, Barcelona, Crítica.

Caponi, G. (2001), "Biología funcional *vs.* biología evolutiva", *Episteme*, 12: 23-46. Disponible *on line* en: <www.scientiaestudia.org.br>.

— (2003a), "Darwin: entre Paley y Demócrito", *História, Ciências, Saúde- Manguinhos*, 10(3): 993-1023.

— (2003b), "Experimentos en biología evolutiva: ¿qué tienen ellos que los otros no tengan?", *Episteme*, 16: 61-97.

— (2004), "El reduccionismo en la biología contemporánea", *Signos filosóficos*, 9(12): 33-62. Disponible *on line* en: <www.scientiaestudia.org.br>.

— (2007), "Física del organismo *vs.* hermenéutica del viviente: el alcance del programa reduccionista en la biología contemporánea",

História, Ciências, Saúde- Manguinhos, 14(2): 443-468. Disponible *on line* en: <www.scientiaestudia.org.br>.

CARRETERO, M. y VOSNIADOU, S. (2006), *Cambio conceptual y educación*, Buenos Aires, Aique.

CEPAL (2002), *Panorama social de América Latina, 2001-2002 (LC/G.2183-P/E)*, Santiago de Chile. Publicación de las Naciones Unidas (2002).

CEREIJIDO, F. y CEREIJIDO, M. (1997), *La muerte y sus ventajas*, México, Fondo de Cultura Económica.

CEREIJIDO, M. (1999), *La nuca de Houssay*, México, Fondo de Cultura Económica.

CHALMERS, A. (2000), *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?*, Buenos Aires, Siglo XXI .

CHEVALLARD, Y. (1997), *La transposición didáctica. Del saber sabio al saber enseñado*, Buenos Aires, Aique.

CHOU HARE, V. (1992), "El resumen de textos", en Irwing, J. y Doyle, M. (comps.), *Conexiones entre la lectura y la escritura. Aprendiendo de la investigación*, Buenos Aires, Aique.

CLÉMENT, P. (1998), "La biologie et sa didactique, dix ans de recherche", *Aster*, 27: 57-93.

CRAWFORD, D. (2000), *El enemigo invisible*, Barcelona, Península.

CROCE, A. (2005), "De las resistencias internas para incluir a los adolescentes y jóvenes en el sistema educativo", en Krichesky, M. (comp.), *Adolescencia e inclusión educativa: un derecho en cuestión*, México, Novedades Educativas.

CURTIS, H.; BARNES, N.; SCHNEK, A. y MASSERINI, A. (2008), *Biología*, Buenos Aires, Médica Panamericana.

CUTRERA, G. (2004), "La actividad científica y la génesis del conocimiento científico en los textos escolares de ciencias naturales. Un análisis de clasificación", *Revista Iberoamericana de Educación*, 33(4). Disponible *on line* en: <www.rieoei.org>.

DARWIN, C. (2008), *Autobiografía*, Pamplona, Laetoli.

DAVINI, M. C. (1995), *La formación docente en cuestión: política y pedagogía*, Buenos Aires, Paidós.

DAWKINS, R. (1988), *El relojero ciego*, Barcelona, Labor.

— (1998), *Escalando el monte improbable*, Barcelona, Tusquests.

— (2000), *Destejiendo el arco iris* Barcelona, Tusquets.

— (2006), *The God Delusion*, Nueva York, Houghton Mifflin.

DECLARACIÓN DE BUDAPEST (1999), *Marco general de acción de la declaración de Budapest*. Disponible *on line* en: <www.oei.org.co>.

DELBOS, G. y JORION, P. (1984), *La transmission des savoirs*, París, Maison des Sciences de l'Homme.

DENNETT, D. (1995), *Darwin's Dangerous Idea: Evolution and the Meanings of Life*, Nueva York, Simon and Schuster.

DE VECCHI, G. y GIORDAN, A. (1989), *L'enseignement scientifique: comment faire pour que "ça marche"*, Niza, Z'Éditions.

DÍAZ BARRIGA, A. (1995), *Didáctica. Aportes para una polémica*, Buenos Aires, Aique.

DIEZ, J. y MOULINES, C. (1999), *Fundamentos de filosofía de la ciencia*, Barcelona, Ariel.

DOBZHANSKY, T.; AYALA, F.; STEBBINS, G. y VALENTINE, J. (1980), *Evolución*, Barcelona, Omega.

DRIVER, R.; GUESNE, E. y TIBERGHIEN, A. (1989), *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*, Madrid, Morata.

DUBOS, R. (1967), *Salud y enfermedad*, Nueva York, Time-Life Books.

DURO, E. (2005), "Adolescencia y políticas públicas. De la invisibilidad a la necesaria centralidad", en Krichesky, M. (comp.), *Adolescencia e inclusión educativa: un derecho en cuestión*, México, Novedades Educativas.

DUVAL, R. (1993), "Argumenter, démontrer, expliquer: continuité ou rupture cognitive?", *Petit X*, 31: 37-61.

ECHEVERRÍA, J. (1998), *Filosofía de la ciencia*, Madrid, Akal.

— (1999), *Introducción a la metodología de la ciencia. La filosofía de la ciencia en el siglo XX*, Madrid, Cátedra.

EGAN, K. (1996), "Competing voices for the curriculum", en Wideen, M. y Courtland, M. C. (comps.), *The Struggle for Curriculum: Education, the State, and the Corporate Sector*, Burnaby (BC, Canada), Institute for Studies in Teacher Education, Simon Fraser University.

ELDREDGE, N. (2009), *Darwin. El descubrimiento del árbol de la vida*, Buenos Aires, Katz.

ELDREDGE, N. y GOULD, S. (1972), "Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism", en Schopf, T. (comp.), *Models in Paleobiology*, San Francisco, Freeman, Cooper & Co.

ESTANY, A. (1993), *Introducción a la filosofía de la ciencia*, Barcelona, Crítica.

FABRE, D. (1995), *Bachelard éducateur*, París, PUF.

FELOMAN, D. (2005), "Currículo e inclusión educativa", en Krichesky, M. (comp.), *Adolescencia e inclusión educativa: un derecho en cuestión*, México, Novedades Educativas.

FENSHAM, P. J. (1985), "Science for all: A reflective essay", *Journal of Curriculum Studies*, 17(4): 415-435.

— (2000), "Issues for schooling in science", en Cross, R. T. y Fensham, P. J. (comps.), *Science and the Citizen for Educators and the Public*, número especial de *Melbourne Studies in Education*, 4(2): 73-77, Melbourne, Arena.

— (2002), "De nouveaux guides pour l'alphabétisation scientifique", *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 2(2): 133-149.

FERNÁNDEZ, I.; GIL PÉREZ, D.; VALDÉS, P. y VILCHES, A. (2005), "¿Qué visiones de la ciencia y la actividad científica tenemos y transmitimos?", en Gil Pérez, D. (comp.), *¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Una propuesta didáctica fundamentada para educación científica de jóvenes de 15 a 18 años*, Santiago de Chile, OREALC/UNESCO.

FERRATER MORA, J. (1999), *Diccionario de filosofía*, Barcelona, Ariel.

FOUREZ, G. (1994), *La construcción del conocimiento científico. Filosofía y ética de la ciencia*, Madrid, Narcea.

— (1997), *Alfabetización científica y tecnológica*, Buenos Aires, Colihue.

— (2002), "Les sciences dans l'enseignement secondaire", *Didaskalia*, 21: 107-122.

— (2008), *Cómo se elabora el conocimiento. La epistemología desde una enfoque socioconstructivista*, Madrid, Narcea.

FREEMAN, S. y HERRON, J. (2002), *Análisis evolutivo*, Madrid, Prentice Hall.

FUNDACIÓN SES (2007), *Sustentabilidad, educación y solidaridad*. Disponible *on line* en: <www.fundses.org.ar>.

FURIÓ, C.; VILCHES, A.; GUISASOLA, J. y ROMO, V. (2001), "Finalidades de la enseñanza de las ciencias en la secundaria obligatoria. ¿Alfabetización científica o preparación propedéutica?", *Enseñanza de las Ciencias*, 19(3): 365-376.

FUTUYMA, D. (2005), *Evolution*, Sunderland, Sinauer.

GAETA, R.; GENTILE, N.; LUCERO, S. y ROBLES, N. (1996), *Modelos de explicación científica. Problemas epistemológicos de las ciencias naturales y sociales*, Buenos Aires, Eudeba.

GAGLIARDI, R. (1988), "Cómo utilizar la historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias", *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3): 291-296.

GARCÍA DEBANC, C. (1994), "Apprendre à justifier par écrit une réponse: analyse linguistique et perspectives didactiques", *Practiques*, 84: 5-39.

GARCÍA, R. (2000), *El conocimiento en construcción. De las formulaciones de Jean Piaget a la teoría de sistemas complejos*, Barcelona, Gedisa.

— (2006), *Sistemas complejos*, Barcelona, Gedisa.

GENTILI, P. (1998), *A falsificação do consenso. Simulacro e imposição na reforma educacional do neoliberalismo*, Petrópolis, Vozes.

— (2007), *Desencanto y utopía. La educación en el laberinto de los nuevos tiempos*, Rosario, Homo Sapiens.

— (2009), "Marchas y contramarchas. El derecho a la educación y las dinámicas de exclusión incluyente en América latina (a sesenta años de la Declaración Universal de los Derechos Humanos)", *Revista Iberoamericana de Educación*, 49: 19-57.

GENTILI, P. y ALENCAR, C. (2001), *Educar na esperança em tempos de desencanto*, Petrópolis, Vozes.

GIERE, R. (1992), *La explicación de la ciencia*, México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

GIL PÉREZ, D.; CARRASCOSA, J.; FURIÓ, C. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1991), *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*, Barcelona, Horsori.

GIL PÉREZ, D. y VILCHES, A. (2006), "Educación ciudadana y alfabetización científica. Mitos y realidades", *Revista Iberoamericana de Educación*, 42: 31-53.

GIORDAN, A. (1998), "¿Cómo ir más allá de los modelos constructivistas? La utilización didáctica de las concepciones de los estudiantes", *Investigación en la Escuela*, 28: 7-22.

GIORDAN, A. y DE VECCHI, G. (1995), *Los orígenes del saber. De las concepciones personales a los conceptos científicos* (2ª ed.), Sevilla, Díada.

GONZÁLEZ GALLI, L.; REVEL CHION, A. y MEINARDI, E. (2008), "Actividades centradas en obstáculos para enseñar el modelo de evolución por selección natural", *Revista de Educación en Biología*, 11(1): 52-55.

GOULD, S. (1980), *El pulgar del panda*, Barcelona, Crítica.

— (1994), "La evolución de la vida en la Tierra", *Investigación y Ciencia*, 219: 54-61.

— (1997), *Un dinosaurio en un pajar*, Barcelona, Crítica.

GOULD, S. y LEWONTIN, R. (1979), "The spandrels of San Marco and the Panglossian paradigm: a critique of the adaptasionist programme", *Proc. R. Soc. Lon.*, B. 205: 581-598.

GRATZER, W. (2004), *Eurekas y euforias. Cómo entender la ciencia a través de sus anécdotas*, Barcelona, Crítica.

HALWACHS, F. (1975), "La physique du maître entre la physique du physicien et la physique de l'élève", *Revue Française de Pédagogie*, 33: 19-29.

HASSON, E. (2006), *Evolución y selección natural*, Buenos Aires, Eudeba.

HODSON, D. (1985), "Philosohy of Science and Science Education", *Studies in Science Education*, 12: 25-37.

— (1988), "Toward philosophically move valid science curriculum", *Science Education*, 72: 19-40.

— (1992), "In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education", *International Journal of Science Education*, 14(5): 541-562.

— (1994), "Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio", *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3): 299-313.

HODSON, D. y REID, D. J. (1988), "Science for all: motives, meanings and implications", *School Science Review*, 69: 653-661.

HURD, P. DEHART. (1975), "Science, Technology, and Society: New Goals for Interdisciplinary Science Teaching", *Science Teacher*, 42(2): 27-30.

— (1998), "Scientific literacy: new minds for a changing world", *Science Education*, 34: 407-416.

INDEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos), Argentina, *Censo Nacional 2001*. Disponible *on line* en: <www.indec.mecon.ar>.

IZQUIERDO AYMERICH, M. (2000), "Fundamentos epistemológicos", en Perales Palacios, J. y Cañal de León, P. (comps.), *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*, Alcoy, Marfil.

IZQUIERDO AYMERICH, M. Y SANMARTÍ, N. (2000), "Enseñar a leer y escribir textos de Ciencias Naturales", en Jorba, J.; Gómez, I. y Prat, A., *Hablar y escribir para aprender. Uso de la lengua en situaciones de enseñanza-aprendizaje desde las áreas curriculares*, Barcelona, Síntesis.

JACINTO, C. y TERIGI, F. (2007), *¿Qué hacer ante las desigualdades en la educación secundaria? Aportes a la experiencia latinoamericana*, Buenos Aires, IIPE-UNESCO.

JIMÉNEZ, M.; LUENGO, J. Y TABERNER, J. (2009), "Exclusión social y exclusión educativa como fracasos. Conceptos y líneas para su comprensión e investigación", *Profesorado. Revista de currículum y formación del profesorado*, 13(3). Disponible *on line* en: <www.ugr. es>.

JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M. P. (2002), "Presentación de las monografías: ciencia y cultura, cultura y evolución", *Alambique*, 32.

— (2003), "Discurso de aula y argumentación en la clase de ciencias: cuestiones teóricas y metrológicas", *Enseñanza de las Ciencias*, 21(3): 359-369.

— (comp.) (2003), *Enseñar ciencias*, Barcelona, Graò.

— (2005), "¿Cómo enfrentarse al problema de la resistencia en las plagas? El cambio biológico", en Gil Pérez, D. (comp.), *¿Cómo promover el interés por la cultura científica?*, Santiago de Chile, UNESCO.

JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M. P.; LÓPEZ RODRÍGUEZ, R. y PEREIRO MUÑOZ, C. (1995), "Integrando la educación ambiental en el currículum de ciencias", *Alambique*, 6: 9-17.

JIMÉNEZ GÓMEZ, E. G.; SOLANO MARTÍNEZ, I. y MARÍN MARTÍNEZ, N. (1994), "Problemas de terminología en estudios realizados acerca de lo que el alumno sabe sobre ciencias", *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2): 235-245.

JOSHUA, S. y DUPIN, J. (2005), *Introducción a la didáctica de las ciencias y la matemática*, Buenos Aires, Colihue.

JORBA, J.; GÓMEZ, I. y PRAT, A. (2000), *Hablar y escribir para aprender. Uso de la lengua en situación de enseñanza/aprendizaje desde las áreas curriculares*, Barcelona, Síntesis.

JORDAN, B. (2001), *Los impostores de la genética*, Barcelona, Península.

KAMPOURAKIS, K. y ZOGSA, V. (2007), "Students' intuitive explanations of the causes of homologies and adaptations", *Science & Education*, 17: 27-47.

— (2007), "Students' preconceptions about evolution: how accurate is the characterization as 'Lamarckian' when considering the history of evolutionary thought", *Science & Education*, 16: 393-422.

KARDONG, K. (1999), *Vertebrados. Anatomía comparada, función, evolución*, Madrid, McGraw-Hill Interamericana.

KEIL, F. (2002), "El nacimiento y enriquecimiento de conceptos por dominios: el origen de los conceptos de seres vivientes", en Hirschfeld,

L. y Gelman, S. (comps.), *Cartografía de la mente. La especificidad de dominio en la cognición y en la cultura. Vol. I. Orígenes, procesos y conceptos*, Barcelona, Gedisa.

KELEMEN, D. (1999), "Function, goals and intention: children's teleological reasoning about objects", *Trends in Cognitive Sciences*, 3(12).

KEMP, A. C. (2002), "Implications of diverse meanings for 'scientific literacy'", en Rubba, P.A.; Rye, J. A.; Di Biase, W. J. y Crawford, B. A. (comps.), *Proceedings of the 2002 Annual International Conference of the Association for the Education of Teachers in Science*, Pensacola, FL, AETS, pp. 1202-1229. Disponible *on line* en: <www.ed.psu.edu>.

KLIMOVSKY, G. (1994), *Las desventuras del conocimiento científico. Una introducción a la epistemología*, Buenos Aires, AZ.

KREBS, J. y DAVIES, N. (1993), *An Introduction of Behavioural Ecology*, Oxford, Blackwell.

KRICHESKY, M. (comp.) (2006), *Escuela y comunidad: desafíos para la inclusión educativa*, Buenos Aires, Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la Nación.

LEBEL, J. (2005), *Salud. Un enfoque ecosistémico*, Ottawa, Alfaomega.

LEFF, E. (2001), *Epistemología ambiental*, San Pablo, Cortes.

LEMKE, J. (1997), *Aprender a hablar ciencia. Lenguaje, aprendizaje y valores*, Barcelona, Paidós.

LENNOX, J. (1993), "Darwin was a teleologist", *Biology and Philosophy*, 8: 409-421.

LÓPEZ, M. (1990), *Saber enseñar a describir, definir, argumentar*, La Habana, Pueblo y Educación.

LÓPEZ, N. y TEDESCO, J. C. (2002), *Las condiciones de educabilidad de los niños y adolescentes de América latina*, Buenos Aires, IIPE-UNESCO.

MACEDO, B. (2002), *Educación científica*, Santiago de Chile, OREALC-UNESCO. Disponible *on line* en: <www.unesco.cl>.

— (2005), Presentación de la obra: AA.VV., *¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Una propuesta didáctica fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años*, Santiago de Chile, OREALC-UNESCO.

MACEDO, B.; KATZKOWICZ, R. y QUINTANILLA, M. (2006), "La educación de los derechos humanos desde una visión naturalizada de la ciencia y su enseñanza: aportes para la formación ciudadana", en UNESCO,

Construyendo ciudadanía a través de la educación científica, Santiago de Chile, UNESCO.

MARCO-STIEFEL, B. (2002), "Alfabetización científica y enseñanza de las ciencias. Estado de la cuestión", en Membiela, P. (comp.), *Enseñanza de las ciencias desde la perspectiva ciencia-tecnología-sociedad. Formación científica para la ciudadanía*, Madrid, Narcea.

MARTÍN-GORDILLO, M. (2003), "Metáforas y simulaciones: alternativas para la didáctica y la enseñanza de las ciencias", *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2(3). Disponible *on line* en: <www.saum.uvigo.es>.

MARTINAND, J-L. (1986), *Connaître et transformer la matière*, Berne, Peter Lang.

MATTHEWS, M. (1994), "Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual", *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2): 255-277.

MAURI, T. Y SANMARTÍ, N. (2000), "Estrategias de aplicación en el aula", en Jorba, J.; Gómez, I. y Prat, A., *Hablar y escribir para aprender. Uso de la lengua en situaciones de enseñanza-aprendizaje desde las áreas curriculares*, Barcelona, Síntesis.

MAYNARD SMITH, J. (1995), "Genes, Memes & Mind", *The New York Review of Books*, 42(19). Disponible *on line* en: <www.nybooks.com>.

MAYR, E. (1998), *Así es la biología*, Madrid, Debate.

— (2006), *Por qué es única la biología. Consideraciones sobre la autonomía de una disciplina científica*, Buenos Aires, Katz.

MC EWAN, I. (2005), *Sábado*, Buenos Aires, Anagrama.

MEDAWAR, P. (1997), *El extraño caso de los ratones moteados y otros ensayos sobre ciencia*, Barcelona, Crítica.

MEINARDI E. (2005), "Marcos para la planificación de unidades didácticas innovadoras en la formación del profesorado", *Memorias VII Congreso Internacional de Educación: Formación de Formadores*, Cholula, Puebla. México.

— (2007), "Reflexiones sobre la formación inicial de los profesores de biología", *Revista de Educación en Biología*, 10(2): 48-54.

MEINARDI, E. y ADÚRIZ-BRAVO, A. (2002), "Debates actuales en la didáctica de las ciencias naturales", *Revista de Educación en Biología*, 5(2): 41-49.

MEINARDI, E.; ADÚRIZ-BRAVO, A. y REVEL-CHION, A. (2002), "La educación ambiental en el aula. Una propuesta para integrar contenidos

multidisciplinares a través de la argumentación", *Investigación en la Escuela. Nuevas tendencias de la Educación Ambiental*, 46: 93-103.

MEINARDI, E.; GODOY, E.; IGLESIAS, M.; REVEL CHION, A.; RODRÍGUEZ VIDA, I.; PLAZA, M. V. y BONAN, L. (2008a), "Educación para la salud sexual en la formación de profesores en Argentina", *Ciência & Educação*, 14(2): 181-195.

MEINARDI, E.; GÓMEZ, S.; SALAS, V. y BONAN, L. (2009a), "La asociación de instituciones educativas como medio para el desarrollo curricular: la implementación de la asignatura ambiente y salud", en AA.VV., *Todos los chicos tienen derecho a la educación*. Biblioteca virtual de la Asamblea Permanente por los Derechos Humanos. Disponible *on line* en: <www.apdh-argentina.org.ar>.

MEINARDI, E. y GONZÁLEZ GALLI, L. (2009b), *Ciencias naturales. Fascículo 1. Por un mundo sano*, Buenos Aires, Eudeba-Ediba.

MEINARDI, E., INZILLO, L., RODRÍGUEZ VIDA, M., HARBURGER, L. y ADÚRIZ-BRAVO, A. (2003), "La planificación didáctica como hipótesis teórica. Un ejemplo sobre la enseñanza del sistema circulatorio en Polimodal". *Memorias III Congreso Nacional y I Internacional de Investigación Educativa*, Río Negro, Argentina.

MEINARDI, E. Y REVEL CHION, A. (1998), *Teoría y práctica de la educación ambiental*, Buenos Aires, Aique.

— (2000), *Biología*, Buenos Aires, Aique.

— (comps.) (2008b), *Género y educación sexual en las escuelas*, Buenos Aires, E. Meinardi (ed.).

MEINARDI, E.; REVEL-CHION, A. y GONZÁLEZ URDA, E. (1998), *Teoría y práctica de la educación ambiental*, Buenos Aires, Aique.

MENDEL, G. (1866), *Experimentos en hibridización de plantas*. Disponible *on line* en: <www.ucm.es> (en español).

MONOD, J. (1993), *El azar y la necesidad*, Barcelona, Tusquets.

MORGADE, G. y ALONSO, G. (comps.) (2008), *Cuerpos y sexualidades en la escuela*, Buenos Aires, Paidós.

MOSCONI, N. (1998), *Diferencia de sexos y su relación con el saber*, Buenos Aires, Novedades Educativas.

NABHAN, P. (2006), *Por qué a algunos les gusta el picante. Alimentos, genes y diversidad cultural*, México, Fondo de Cultura Económica.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996), *National Science Education Standards*, Washington (DC), National Academy Press.

NESSE, R. y WILLIAMS, G. (2000), *¿Por qué enfermamos?*, Barcelona, Grijalbo Mondadori.

NSTA (1982), *Science-technology-society: Science education for the 1980s*, Washington, NSTA.

OLDSTONE, M. (1998), *Virus, pestes e historia*, México, Fondo de Cultura Económica.

PACHECO SILVA, M. y PACHECO DE CARVALHO, W. L. (2005), "O desenvolvimento do conhecimento pedagógico do conteúdo de sexualidade na vivência das professoras", *Ciência & Educação*, 11(1): 73-82.

PAGLIERO, F.; CARASSAY, L.; MEINARDI, E. y GALAGOVSKY, L. (2000), "La enseñanza del sistema nervioso con alumnos de 11 años", *Memorias del II Congreso Iberoamericano de Educación en Ciencias Experimentales*, Córdoba, Argentina.

PALMA, H. (2007), *Metáforas en la evolución de las ciencias*, Buenos Aires, Jorge Baudino.

PENNAC, D. (2008), *Mal de escuela*, Barcelona, Mondadori.

PERRENOUD, P. (2004), *Desarrollar la práctica reflexiva en el oficio de enseñar*, Barcelona, Graò.

— (2008), *La evaluación de los aprendizajes. De la producción de la excelencia a la regulación de los aprendizajes. Entre dos lógicas*, Buenos Aires, Colihue.

PILOT, A. (2000), "The concept of 'basic scientific knowledge' through some of the reforms recently undertaken in science and technology teaching in European States", en Poisson, M. (comp.): *Science Education for Contemporary Society: Problems, Issues and Dilemmas*, informe final del International Workshop sobre la reforma de la enseñanza de ciencia y tecnología en el nivel primario y secundario en Asia: estudio comparativo con Europa. Parte IV: *New approaches in science and technology education*, pp. 104-110. Disponible *on line* en: <www.ibe.unesco.org>.

PINKER, S. (2000), *Así funciona la mente*, Barcelona, Destino.

— (2003), *La tabla rasa. La negación moderna de la naturaleza humana*, Barcelona, Paidós.

— (2007), *El instinto del lenguaje*, Madrid, Alianza.

PLOMIN, R.; DE FRIES, J.; MCCLEARN, G. y MCGUFFIN, P. (2002), *Genética de la conducta*, Barcelona, Ariel.

PORLÁN ARIZA, R.; RIVERO GARCÍA, A. Y MARTÍN DEL POZO, R. (2000), *El conocimiento del profesorado sobre la ciencia, su enseñanza y aprendizaje*.

Didáctica de las ciencias experimentales, teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias, Alcoy, Mafil, pp. 507-533.

POSADA, J. M. DE (2000), *El estudio didáctico de las ideas previas*, en Perales Palacios, J. y Cañal de León, P. (comps.), *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*, Alcoy, Marfil.

POZO, J. I. (1996), "La psicología cognitiva y la educación científica", *Investigações em Ensino de Ciências*, 1(2).

— (1997), *Teorías cognitivas del aprendizaje*, Madrid, Morata.

PRO BUENO, A. J. de (1995), "Reflexiones para la selección de contenidos procedimentales en ciencias", *Alambique*, 6: 77-87.

PURVES, W.; SADAVA, D.; ORIANS, G. y HELLER, H. (2005), *Vida. La ciencia de la biología*, Buenos Aires, Médica Panamericana.

PUTNAM, H. (1973), "Reductionism and the nature of psychology", *Cognition*, 2: 135.

QUINTANILLA, M. (2006), "Equidad y calidad de la educación científica en América latina. Algunas reflexiones para un debate sobre los modelos de formación inicial y continua de los profesores de ciencia", en Katzkowicz, R. y Salgado, C. (comps.), *Construyendo ciudadanía a través de la educación científica*, Santiago de Chile, UNESCO.

RASCOE, B.; CHUN, S.; KEMP, A.; JACKSON, D.; LI, H.; OLIVER, J. S.; TIPPINS, D. J.; NICHOLS, S. E. y RADCLIFFE, L. (1999), *Scientific Literacy: Interpretations of a Cross-Section of Our Society*, ponencia presentada en el Encuentro Anual de la National Association for Research in Science Teaching, Boston (MA). Disponible *on line* en: <www.educ.sfu.ca>.

REID, D. J. y HODSON, D. (1989), *Science for all*, Londres, Casell. Traducción castellana (1993), Martín-Díaz, M. J. y García-Lucía, L. A. (trads.), *Ciencia para todos en secundaria*, Madrid, Narcea.

RIDLEY, M. (2004), *Evolution*, Malden (USA), Blackwell.

ROSALES, P. y VILLAVERDE, M. S. (2006), "Salud sexual y procreación responsable", en *Salud Sexual y Reproductiva*, Buenos Aires, LexisNexis, núm. especial (abril).

ROSENBERG, A. y MCSHEA, D. (2008), *Philosophy of Biology. A Contemporary Introduction*, Nueva York, Routledge.

ROSSIANOV, KIRILL (1994), "Biology Under Lysenko and Stalin", *Science*, noviembre, 11: 1085-1086.

RUDWICK, M. (2008), "Objetos fósiles", en Llorente, J.; Ruiz, R.; Zamudio, G. y Noguera R. (comps.), *Fundamentos históricos de la biología*, México, UNAM.

RUIZ, R. y AYALA, F. (1998), *El método en las ciencias. Epistemología y darwinismo*, México, Fondo de Cultura Económica.

RUSE, M. (2000), "Teleology: yesterday, today, and tomorrow?", *Stud. Hist. Phil. Biol. & Biomed. Sci*, 31(1): 213-232.

— (2008a), "Creationism", en Zalta, E. (comp.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (otoño). Disponible on line en: <plato.stanford.edu>.

— (2008b), *Charles Darwin*, Buenos Aires, Katz.

RYAN, A. G. y AIKENHEAD, G. S. (1992), "Students' preconceptions about the epistemology of science", *Science Education*, 76(6): 559-580.

SACKS, O. (2009), *El hombre que confundió a su mujer con un sombrero*, Barcelona, Anagrama.

SÁNCHEZ, J. A. (2001), "El desarrollo profesional del docente universitario", *Universidades*, 22.

SANMARTÍ, N. (1995), "¿Se debe enseñar lengua en la clase de ciencias?", *Aula de Innovación Educativa*, 43: 5-11.

— (2000), "El diseño de unidades didácticas", en Perales Palacios, J. y Cañal de León, P. (comps.), *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*, Alcoy, Marfil.

— (2002), *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria*, Barcelona, Síntesis.

SANMARTÍ, N.; IZQUIERDO, M. y GARCÍA, P. (1999), "Hablar y escribir, la condición necesaria para aprender ciencias", *Cuadernos de Pedagogía*, 281: 54-58.

SANTOS GUERRA, M.A. (1994), *Entre bastidores. El lado oculto de la organización escolar*, Archidona, Aljibe.

SCHNEK, A. (2008), "¿Qué aporta la historia de las ciencias a la enseñanza de las ciencias naturales?", en Galagovsky, L. (comp.), *¿Qué tienen de "naturales" las ciencias naturales?*, Buenos Aires, Biblos.

SHAMOS, M. H. (1993), "STS: A time forcaution", en Yager, R. E. (ed.), *The Science, Technology, Society Movement*, Washington (DC), NSTA.

— (1995), *The Myth of Scientific Literacy*, New Brunswick (NJ), Rutgers University Press.

SHUBIN, N. (2009), "Rasgos anatómicos del pasado", *Investigación y Ciencia*, 388: 42-45.

SHULMAN, L. S. (1987), "Knowledge and teaching: foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1): 1-22. Traducción castellana (2005), "Conocimiento y enseñanza: fundamento de la nueva reforma", *Profesorado. Revista de Currículum y Formación de Profesorado*, 9(2). Disponible *on line* en: <www.ugr.es>.

SITEAL (Sistema de Información de Tendencias Educativas en América Latina) (2008), *Resumen estadístico. Totales regionales*. Disponible *on line* en: <www.siteal.iipe-oei.org>.

SJØBERG, S. (2003), "Science and technology education: current challenges and possible solutions", en Jenkins, E. W. (comp.), *Innovations in Science and Technology Education*, vol. VIII, París, UNESCO. Disponible *on line* en: <folk.uio.no>.

SOBER, E. (2007), "What is wrong with intelligent design", *The Quarterly Review of Biology*, 82(1): 3-8.

SOLBES, J., y VILCHES, A. (1997), "STS interactions and the teaching of physics and chemistry", *Science Education*, 81(4): 377-386.

SUTTON, C. (1997), "Ideas sobre la ciencia e ideas sobre el lenguaje", *Alambique*, 12: 8-32.

— (2003), "Los profesores de ciencias como profesores de lenguaje", ponencia del *VI Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias*, Barcelona.

TEDESCO, J. C. (2006), "Prioridad a la enseñanza de ciencias: una decisión política", *Cuadernos de Iberoamética*, Madrid, OEI.

TERIGI, F. (2009), "El fracaso escolar desde la perspectiva psicoeducativa: hacia una reconceptualización situacional", *Revista Iberoamericana de Educación*, 50: 23-59.

UNESCO (2003), *Alcanzando las metas educativas. Proyecto Regional de Indicadores Educativos*. PRIE, disponible on line en: <unesdoc.unesco.org>.

— (2008), "Educación: barreras en el camino", *El Correo de la UNESCO 9*. Disponible *on line* en: <unesdoc.unesco.org>.

TINBERGEN, N. (1994), *Naturalistas curiosos*, Barcelona, Salvat.

TIPPINS, D. J.; NICHOLS, S. E. y KEMP, A. (1999), *Cultural Myths in the Making: the Ambiguities of Science for All*, ponencia presentada en el *Encuentro Anual de la National Association for Research in Science*

Teaching, Boston (MA). Disponible *on line* en: <www.educ.sfu.ca>.

TIPPINS, D. J.; OLIVER, J. S.; JACKSON, D.; CHUN, S.; KEMP, A.; LI, H.; RASCOE, B.; NICHOLS, S. E. y RADCLIFFE, L. (1998), *Scientific Literacy: Exploring the Metaphor*, ponencia presentada en el *Encuentro Anual de la Association of Educators of Teachers of Science*, Minneapolis (MN).

THOMPSON, P. (1989), *The Structure of Biological Theories*, Albany, State University of New York Press.

VALEIRAS, N. y MEINARDI, E. (2007), "La enseñanza de la biología, las reformas educativas y la realidad del profesorado en Argentina", *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 51: 58-65.

VAN DIJK, T. (1978), *La ciencia del texto*, Barcelona, Paidós.

VESLIN, J. (1988), "Quels textes scientifiques espere-t-on-voir les élèves écrire?", *Aster*, 6: 91-127.

VEZUB, L. (2004), "Las trayectorias de desarrollo profesional docente: algunos conceptos para su abordaje", *IICE*, XII (22): 3-12.

WARTOFSKY, M. (1987), *Introducción a la filosofía de la ciencia*, Madrid, Alianza.

WATSON, J. (1994), *La doble hélice*, Barcelona, Salvat.

WEBER, B. (2009), "Design and its discontents", *Synthese*. En: <www.springerlink>.

WELLINGTON, J. J. (1981), "What's supposed to happen, Sir?", *School Science Review*, 63: 167-173.

WENGER, E. (2001), *Comunidades de práctica. Aprendizaje, significado e identidad*, Barcelona, Paidós.

WOHL, C. (2007), "Scientist as detective: Luis Álvarez and the pyramid burial chambers, the JFK assassination, and the end of the dinosaurs", *American Journal of Physics*, 75(11): 968-977. Disponible *on line* en: <6911norfolk.com >.

ZABALZA, M. (2004), *La enseñanza universitaria. El escenario y sus protagonistas*, Madrid, Narcea.

ZEICHNER, K. M. (1993), "El maestro como profesional reflexivo", *Cuadernos de Pedagogía*, 220: 44-49.